

Trabajo Final de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Estudio energético de una piscina cubierta de la Comunitat Valenciana. Análisis y propuestas para una mayor eficiencia energética

Memoria

Autor: Julio Rivero Beltran
Directora: Carme Pretel Sánchez
Convocatoria: enero 2020



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



Resumen

El presente proyecto se centra en el estudio energético de la Piscina Yurema Requena, situada en la población de Vila-real (Comunidad Valenciana). La instalación cuenta con dos vasos, dos salas de musculación y fitness, vestuarios, sala de máquinas y una pequeña oficina.

La primera parte del proyecto consiste en la descripción y comprensión del funcionamiento de los diversos equipos que componen la instalación. Para alcanzar y mantener las condiciones apropiadas de confort en una piscina climatizada se consume una gran cantidad de agua caliente, en este caso, su producción se realiza mediante dos calderas de gas natural. Además, para climatizar adecuadamente el recinto y cumplir con las condiciones exigidas por la normativa, es necesario renovar y tratar el aire del interior del recinto. Para ello esta instalación dispone de dos máquinas de deshumectación.

Una vez comprendido el funcionamiento de la piscina, la siguiente parte consiste en el cálculo detallado de la demanda y consumos energéticos. En esta instalación, el consumo de gas natural para la producción de agua caliente se produce para compensar las pérdidas de calor que sufren el agua de los vasos y el aire del recinto, así como la generación de ACS. Por otro lado, los consumos eléctricos son realizados por los equipos deshumectación, bombeo, iluminación y ventilación de la instalación. Este cálculo permite realizar un balance energético y conocer el peso que tiene cada uno de los tipos de pérdidas de calor que sufre la instalación, así como el desglose de los consumos eléctricos realizados por los diferentes equipos.

A continuación, se procede a evaluar las posibles alternativas que se podrían proponer como mejoras para conseguir una mayor eficiencia energética. Atendiendo a que se trata de un edificio público, con capacidad de inversión limitada y en la búsqueda de llevar a cabo una propuesta realista, que produzca un ahorro energético y económico, y a su vez, tenga un rápido retorno, se propone como mejora la instalación de una cubierta isotérmica de PE.

Lo más habitual en este tipo de instalaciones es que sean públicas, y con el objetivo de demostrar que la implicación de las administraciones puede ayudar a optimizar energéticamente los edificios públicos, se amplía el estudio a nivel provincial, obteniendo como resultados unos ahorros energéticos, y a su vez económicos, muy interesantes.

Para finalizar se realiza un análisis de las inversiones en ambos casos, el individual y el provincial. Además de un estudio del impacto ambiental que supondría la aplicación de ambas medidas.

ÍNDICE:

| | |
|---|-----------|
| 1. PREFACIO | 13 |
| 1.1. Origen del proyecto | 13 |
| 1.2. Motivación | 13 |
| 1.3. Requerimientos previos..... | 14 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 15 |
| 2.1. Objetivos del proyecto..... | 15 |
| 2.2. Alcance del proyecto | 16 |
| 2.3. Estado del arte | 16 |
| 3. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES | 18 |
| 3.1. Situación y características climatológicas | 18 |
| 3.2. Distribución, gestión y uso de las instalaciones | 20 |
| 3.3. Funcionamiento de la piscina | 21 |
| 4. DEMANDA Y CONSUMO ENERGÉTICO | 24 |
| 4.1. Demanda térmica | 24 |
| 4.1.1. Pérdidas por evaporación del agua de los vasos | 25 |
| 4.1.2. Pérdidas por renovación del agua de los vasos | 27 |
| 4.1.3. Pérdidas por radiación de calor | 28 |
| 4.1.4. Pérdidas por convección de calor | 29 |
| 4.1.5. Pérdidas por conducción de calor..... | 30 |
| 4.1.6. Pérdidas de calor por renovación del aire | 30 |
| 4.1.7. Pérdidas de calor a través de los cerramientos del recinto | 31 |
| 4.1.8. Demanda térmica por consumo de ACS | 33 |
| 4.2. Determinación de los consumos eléctricos | 35 |
| 4.2.1. Consumo de las deshumectadoras | 36 |
| 4.2.2. Consumo de los equipos de bombeo | 37 |
| 4.2.3. Consumo de los equipos de ventilación | 38 |
| 4.2.4. Consumo de los equipos de iluminación | 39 |
| 4.2.5. Consumo de otros equipos eléctricos..... | 41 |
| 4.3. Análisis energético | 42 |
| 4.3.1. Análisis de la demanda térmica | 42 |
| 4.3.2. Análisis del consumo eléctrico | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS Y PROPUESTAS DE MEJORA | 48 |
| 5.1. Tecnologías y alternativas | 48 |
| 5.2. Evaluación de alternativas y propuesta de mejora..... | 57 |
| 5.3. Cubierta isotérmica..... | 58 |
| 5.4. Cierre estival | 61 |
| 5.5. Análisis a nivel provincial | 63 |
| 6. ESTUDIO ECONÓMICO Y DE IMPACTO AMBIENTAL | 68 |
| 6.1. Cubierta isotérmica en la instalación Yurema Requena | 68 |
| 6.2. Cubierta isotérmica a nivel provincial | 72 |
| 6.3. Impacto ambiental..... | 76 |
| PRESUPUESTO | 78 |
| Piscina Yurema Requena | 78 |
| Piscinas Provincia de Castellón | 79 |
| CONCLUSIONES | 82 |
| AGRADECIMIENTOS | 84 |
| BIBLIOGRAFÍA | 85 |
| Referencias bibliográficas..... | 85 |
| Bibliografía complementaria..... | 86 |
| ANEXO | 88 |
| Anexo de cálculos | 88 |
| Anexo de tablas | 100 |

ÍNDICE DE TABLAS:

| | |
|---|----|
| Tabla 1 - Datos climatológicos y característicos de Vila-real | 19 |
| Tabla 2 - Horario de las Instalaciones..... | 21 |
| Tabla 3 - Días de apertura y usuarios diarios en las instalaciones..... | 21 |
| Tabla 4 - Velocidad de evaporación del agua del vaso grande (oct-may) | 26 |
| Tabla 5 - Velocidad de evaporación del agua del vaso grande (jun-sept) | 26 |
| Tabla 6 - Velocidad de evaporación del agua del vaso pequeño | 27 |
| Tabla 7 - Pérdidas por unidad de tiempo debido a la evaporación del agua..... | 27 |
| Tabla 8 - Pérdidas anuales por evaporación del agua en los vasos | 27 |
| Tabla 9 - Pérdidas por renovación del agua de los vasos | 28 |
| Tabla 10 - Pérdidas por unidad de tiempo y anuales debido a la radiación de calor | 29 |
| Tabla 11 - Ganancias por unidad de tiempo y anuales debido a la convección de calor | 29 |
| Tabla 12 - Pérdidas de calor anuales por conducción de calor en los vasos..... | 30 |
| Tabla 13 - Pérdidas de calor por renovación del aire del recinto | 31 |
| Tabla 14 - Pérdidas de calor anuales a través de las fachadas Este y Oeste | 32 |
| Tabla 15 - Pérdidas de calor anuales a través de la fachada Sur | 32 |
| Tabla 16 - Pérdidas de calor anuales a través de la fachada Norte..... | 33 |
| Tabla 17 - Pérdidas de calor anuales a través de la Cubierta | 33 |
| Tabla 18 - Resumen anual pérdidas de calor a través de los cerramientos..... | 33 |
| Tabla 19 - Evolución mensual de la demanda térmica por consumo de ACS | 34 |
| Tabla 20 - Consumo eléctrico anual de los equipos de deshumectación | 37 |

| | |
|--|----|
| Tabla 21 - Inventario de las bombas | 37 |
| Tabla 22 - Consumo eléctrico anual de los equipos de bombeo..... | 38 |
| Tabla 23 – Inventario de los equipos de ventilación | 39 |
| Tabla 24 - Energía eléctrica consumida anualmente por los equipos de ventilación | 39 |
| Tabla 25 - Horas solares en Vila-real | 40 |
| Tabla 26 – Inventario de los equipos de iluminación | 40 |
| Tabla 27 - Energía eléctrica consumida anualmente por la iluminación | 40 |
| Tabla 28 - Inventario y tiempo de uso diario del resto de equipos eléctricos | 41 |
| Tabla 29 - Consumo energía eléctrica anual del resto de equipos..... | 41 |
| Tabla 30 - Resumen de las pérdidas de calor anuales en el agua de los vasos | 42 |
| Tabla 31 - Síntesis de las pérdidas de calor en el aire del recinto | 43 |
| Tabla 32 - Demanda térmica anual por consumo de ACS | 43 |
| Tabla 33 - Síntesis de la evolución mensual de la demanda térmica | 44 |
| Tabla 34 - Comparación del consumo calculado vs consumo real de gas natural..... | 45 |
| Tabla 35 - Resumen de la evolución mensual del consumo eléctrico..... | 46 |
| Tabla 36 - Comparación del consumo calculado vs consumo real de electricidad..... | 47 |
| Tabla 37 - Pérdidas mensuales por evaporación en reposo y ahorro de gas natural con cubierta | 59 |
| Tabla 38 - Evolución mensual del consumo eléctrico durante los periodos de reposo | 60 |
| Tabla 39 - Evolución mensual del ahorro consumo eléctrico..... | 60 |
| Tabla 40 - Coste €/kWh durante el cierre estival..... | 61 |
| Tabla 41 - Ahorro en el consumo eléctrico durante el cierre estival | 62 |

| | |
|---|----|
| Tabla 42 - Coste llenado de las piscinas | 62 |
| Tabla 43 - Energía térmica en la puesta en marcha de la instalación | 62 |
| Tabla 44 - Ahorro por el vaciado estival..... | 62 |
| Tabla 45 - Municipios con mayor población en la provincia de Castellón | 63 |
| Tabla 46 - Resumen de las piscinas en la provincia de Castellón a estudiar | 65 |
| Tabla 47 - Hipótesis asumidas en el estudio provincial | 65 |
| Tabla 48 - Velocidad y pérdidas por evaporación en reposo de las diferentes piscinas | 66 |
| Tabla 49 - Consumo eléctrico en reposo en las diferentes piscinas..... | 66 |
| Tabla 50 – Pérdidas por evaporación anuales a nivel provincial..... | 67 |
| Tabla 51 - Pérdidas de calor evitadas por las cubiertas isotérmicas a nivel provincial..... | 67 |
| Tabla 52 - Energía eléctrica evitada por las cubiertas isotérmicas a nivel provincial | 67 |
| Tabla 53 - Evolución mensual del ahorro energético y económico (gas natural) | 68 |
| Tabla 54 - Coste eléctrico (€/kWh) en periodos de reposo | 69 |
| Tabla 55 -Evolución mensual del ahorro económico (consumo eléctrico) | 69 |
| Tabla 56 - Inversión total en la cubierta isotérmica | 69 |
| Tabla 57 - Periodo de Retorno de la cubierta isotérmica | 70 |
| Tabla 58 – Cálculo del VAN a 5 años | 71 |
| Tabla 59 - Cálculo de la TIR a 3 y 5 años..... | 71 |
| Tabla 60 - Evolución del VAN a 5 años con la tasa de interés (i) | 72 |
| Tabla 61 - Ahorro anual a nivel provincial (gas natural) | 72 |
| Tabla 62 - Coste eléctrico (€/kWh) en periodos de reposo | 73 |

| | |
|--|----|
| Tabla 63 -Evolución mensual del ahorro económico (consumo eléctrico) | 73 |
| Tabla 64 - Inversión total provincial en cubierta isotérmica | 73 |
| Tabla 65 - Periodo de Retorno a nivel provincial de la cubierta isotérmica..... | 74 |
| Tabla 66 - Cálculo del VAN a 3 años | 74 |
| Tabla 67 - Cálculo de la TIR a 3 años | 75 |
| Tabla 68 - Evolución del VAN a 3 años con la tasa de interés (i) | 75 |
| Tabla 69 - Emisiones de CO ₂ evitadas anualmente en la piscina Yurema Requena | 76 |
| Tabla 70 - Emisiones de CO ₂ evitadas anualmente en las piscinas provinciales | 77 |
| Tabla 71 - Impacto ambiental anual del vaciado de los vasos..... | 77 |
| Tabla 72 - Presupuesta de las cubiertas de espuma de PE..... | 78 |
| Tabla 73 - Presupuesto de los enrolladores..... | 78 |
| Tabla 74 - Presupuesto de los flotadores..... | 79 |
| Tabla 75 - Presupuesto de las cintas-ribetes | 79 |
| Tabla 76 - Presupuesto del transporte e instalación | 79 |
| Tabla 77 - Presupuesto de las cubiertas de espuma de PE | 80 |
| Tabla 78 - Presupuesto de los enrolladores..... | 80 |
| Tabla 79 - Presupuesto de los flotadores..... | 80 |
| Tabla 80 - Presupuesto de las cintas-ribetes | 80 |
| Tabla 81 - Presupuestos de los transportes e instalaciones..... | 81 |
| Tabla 82 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por evaporación..... | 88 |
| Tabla 83 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por renovación del agua de los vasos ... | 89 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 84 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por radiación..... | 90 |
| Tabla 85 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por convección..... | 91 |
| Tabla 86 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por conducción a través de los vasos.... | 92 |
| Tabla 87 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por renovación del aire del recinto | 93 |
| Tabla 88 - Detalle mensual de las pérdidas de calor a través de los cerramientos | 93 |
| Tabla 89 - Detalle mensual demanda térmica por el consumo de ACS | 95 |
| Tabla 90 - Evolución mensual del consumo eléctrico de las deshumectadoras | 96 |
| Tabla 91 - Evolución mensual del consumo eléctrico de los equipos de bombeo | 97 |
| Tabla 92 - Evolución mensual consumo eléctrico de los equipos de ventilación | 97 |
| Tabla 93 - Evolución mensual consumo eléctrico de los equipos de iluminación | 98 |
| Tabla 94 - Evolución mensual consumo eléctrico del resto de equipos | 99 |
| Tabla 95 - Humedad absoluta en aire saturado en función de la temperatura..... | 100 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:

| | |
|---|-----|
| Ilustración 1 - Mapa con la situación de Vila-real [1]..... | 18 |
| Ilustración 2 - Mapa con la situación de Vila-real ampliado [1] | 19 |
| Ilustración 3 – Esquema de funcionamiento de la piscina | 23 |
| Ilustración 4 - Pérdidas de calor en una piscina climatizada [4]..... | 25 |
| Ilustración 5 - Peso de las diferentes pérdidas de calor en el agua de los vasos | 42 |
| Ilustración 6 - Peso de las diferentes pérdidas de calor en el aire del recinto..... | 43 |
| Ilustración 7 - Pesos en la demanda térmica anual | 44 |
| Ilustración 8 - Curva de consumo mensual calculado vs consumo real de gas natural | 45 |
| Ilustración 9 - Pesos del consumo eléctrico anual | 46 |
| Ilustración 10 - Curva de consumo mensual calculado vs consumo real de electricidad | 47 |
| Ilustración 11 - Gran central solar fotovoltaica [6] | 51 |
| Ilustración 12 – Resumen del funcionamiento de una bomba geotérmica [8] | 53 |
| Ilustración 13 - Ejemplo de aplicación de una cubierta térmica [9] | 56 |
| Ilustración 14 - Periodos de discriminación horaria de la tarifa 3.0 A [10] | 61 |
| Ilustración 15 - Mapa de la Provincia de Castellón [1] | 64 |
| Ilustración 16 - Evolución del VAN a 5 años con la tasa de interés (i) | 72 |
| Ilustración 17 - Evolución del VAN a 3 años con la tasa de interés (i) | 75 |
| Ilustración 18 - Proporción de las pérdidas de calor en los vasos | 92 |
| Ilustración 19 - Proporción de las pérdidas de calor a través de cada cerramiento..... | 94 |
| Ilustración 20 - Proporción de las pérdidas de calor acondicionamiento aire..... | 94 |
| Ilustración 21 - Tabla de Vapor de Agua Saturado [13]..... | 100 |

1. Prefacio

1.1. Origen del proyecto

En la actualidad, la transición energética, el calentamiento global y el cambio climático son temas de gran relevancia a nivel mundial, especialmente después de la COP 21 (Conferencia de las Partes), que finalizó con el Acuerdo de París (2015-2016), con el que los gobiernos presentes acordaron objetivos ambiciosos con los que acometer la reducción de emisiones globales y limitar el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C en el año 2100.

En este Acuerdo, se les da una elevada importancia a las partes no signatarias, como son: las ciudades, la sociedad civil, el resto de la Administración Pública y el sector privado. Se les invita a intensificar esfuerzos y medidas de apoyo para reducir las emisiones, aumentar la resistencia a los efectos del cambio climático, así como a mantener e impulsar la cooperación regional e internacional.

Hay que subrayar que la transición energética hacia un nuevo modelo energético sostenible presenta tres elementos clave, éstos son: la electrificación de la economía, la máxima integración de las energías renovables y la eficiencia energética.

Asimismo, a nivel nacional, se ha elaborado el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (2021-2030), cuyos principales objetivos son la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, incrementar el uso de energías renovables, así como aumentar la eficiencia energética. También hay que señalar la elaboración de los diversos Planes Nacionales de Acción para la Eficiencia Energética (2011-2020, 2014-2020 y 2017-2020) y el Plan de Acción de Energías Renovables (2011-2020), a través de los que se pretende posicionar al país en una posición de liderazgo en eficiencia energética, así como en el uso y desarrollo de energía y tecnologías limpias.

1.2. Motivación

El presente Trabajo Final de Máster surge de la oportunidad de realizar una auditoría energética en una de las instalaciones deportivas gestionadas por el Servei Municipal d'Esports del Ayuntamiento de Vila-real.

Su realización representa una buena oportunidad para exponer que, hoy en día, aún queda trabajo por hacer en lo que respecta a la eficiencia energética. La transición energética no sólo depende de un cambio en el modelo de generación de electricidad, también depende en gran medida de la evolución y de la investigación para conseguir una mayor eficiencia energética.

Al estudiar una instalación pública en detalle y con el posterior análisis de las mejoras a nivel provincial se busca demostrar que, mediante la debida implicación de las Administraciones Públicas, se podrían alcanzar grandes ahorros energéticos y económicos.

1.3. Requerimientos previos

Para la realización de este proyecto ha sido necesario tener conocimientos previos de ingeniería térmica, instalaciones y tecnología energética, con el fin de poder plantear correctamente el análisis energético.

En lo que respecta a los cálculos, tablas y gráficas, se han realizado partiendo de un nivel medio-alto del programa Microsoft Excel.

En cuanto a la instalación objeto de estudio, ha resultado básico la posibilidad de visitar previamente el edificio y la realización de entrevistas con los responsables del Servei Municipal d'Esports. Asimismo, también ha sido importante la consulta previa de información y datos del recinto y de la instalación.

2. Introducción

2.1. Objetivos del proyecto

La principal meta de este proyecto es realizar un estudio energético detallado de la situación actual de las instalaciones de la piscina Yurema Requena, situada en de Vila-real (Comunidad Valenciana). Y a partir de éste, llevar a cabo un análisis y propuesta de mejoras que sea asumible e implique un ahorro energético y económico en la instalación, es decir, que permita aumentar la eficiencia energética.

Además, en la búsqueda de una mayor optimización y eficiencia energética, se hará un análisis a nivel provincial de como influirían las mejoras propuestas para la piscina Yurema Requena, en otras instalaciones con climatología y tamaño similar, con el propósito de evaluar la inversión y el ahorro energético y económico que podría comportar la aplicación de estas medidas a un nivel más macro.

Para cumplir estos objetivos, la realización del proyecto debe pasar por las siguientes fases:

- Una recopilación de información y datos de la instalación a partir de la realización de visitas y entrevistas con los responsables de la instalación, para conocer la situación energética actual del edificio.
- La realización de un estudio del comportamiento energético de la instalación y sus diferentes equipos, que permita obtener un balance energético y la evolución de las necesidades energéticas a lo largo del año.
- El análisis de los datos obtenidos, con el fin de enfocar la propuesta de mejoras a aquellas áreas que ofrecen oportunidades de ahorro energético y económico, con una inversión y retorno interesante.
- El cálculo y la evaluación a nivel energético y económico, del ahorro alcanzable mediante las medidas propuestas.
- El estudio de la posible aplicación de estas medidas en instalaciones similares.
- La exposición de las conclusiones obtenidas a partir del estudio realizado.

2.2. Alcance del proyecto

El trabajo analiza en profundidad el funcionamiento de una instalación real para la posterior propuesta de mejoras, durante el desarrollo de éste, se explica y describe con detalle la formulación y los cálculos realizados en los diferentes apartados.

El estudio de la aplicación de las medidas propuestas a otras instalaciones se basa en unos datos característicos de cada instalación y otros datos extrapolados a partir del estudio previamente realizado.

No está dentro del alcance del proyecto analizar con el mismo nivel de detalle el resto de las piscinas de la provincia de Castellón, para ello se asumirán ciertos valores de temperatura y usuarios que simplifican los cálculos y el análisis masivo de datos, sin distar en gran medida de la realidad.

Adicionalmente, se evaluará la rentabilidad de las inversiones a nivel individual en la piscina de Vila-real, como en el resto de piscinas a nivel provincial.

2.3. Estado del arte

El gran reto en una piscina climatizada es conseguir y mantener las condiciones adecuadas de confort en el agua de los vasos y en el aire del recinto, dentro de los límites establecidos por el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) [2], con este fin, consume principalmente, energía térmica y energía eléctrica.

La generación de energía térmica en este tipo de instalaciones ha vivido una revolución en los últimos años, esto es consecuencia, entre otras cosas, del cambio de paradigma energético, en el que históricamente se ha priorizado la rentabilidad a corto plazo y el funcionamiento más económico, sin considerar ni las emisiones ni los perjuicios que pudieran ocasionar, y ahora, con el avance de la tecnología y con la importancia dada al cambio climático, se busca la eficiencia energética y la generación con el mínimo impacto ambiental.

Esta evolución ha permitido que la generación térmica en piscinas climatizadas pase de realizarse mediante tecnologías menos eficientes como pudieran ser calderas de carbón o de fuel-oil, a llevarse a cabo con tecnologías más modernas, eficientes y con menor impacto sobre el medio ambiente, como instalaciones solares térmicas o calderas de biomasa.

Asimismo, en lo que respecta a la energía eléctrica, lo más habitual sigue siendo la conexión a la red eléctrica. No obstante, durante los últimos años se han ido desarrollando alternativas

de autogeneración eléctrica, que posibilitan la generación de energía eléctrica en la ubicación de consumo y de una forma más limpia de la que lo hace el mix energético nacional.

Además, se trata de instalaciones con un coste de construcción y funcionamiento energético muy elevado, esto provoca que, en la mayor parte de los casos, se trate de instalaciones públicas cuyo objetivo no es otro que la promoción del deporte entre los ciudadanos.

Como consecuencia, surgen dos modelos de gestión principales, que son los que se describen a continuación:

- La gestión pública a través de una empresa o ente público, en este caso, es la propia Administración la responsable de la coordinación y mantenimiento de la instalación. Esto implica que el gasto en funcionamiento y mantenimiento, las nuevas inversiones, etc, recaen sobre ella, por lo que los recursos disponibles están profundamente limitados por el contexto económico en el que se encuentre el organismo público en cuestión, y del presupuesto que disponga.
- Las concesiones, mediante las que la Administración Pública pone en manos de empresas privadas la dirección de estas instalaciones. En principio, este operador está más capacitado, dispone de recursos, experiencia y solvencia técnica, con el fin de llevar a cabo una gestión más eficiente y eficaz que la propia administración. En estos casos, tanto los ingresos como la inversión están muy limitados por la propia concesión. Por un lado, el organismo público suele marcar unas tarifas económicas con el objetivo de promover las diferentes actividades e inscripciones y, por otro lado, la inversión está limitada debido a que la administración busca reducir al máximo su gasto económico en estas instalaciones y la empresa privada busca maximizar su rentabilidad en una instalación cuya gestión tiene fecha de fin.

Esto es una clara muestra, de que una vez la piscina ha sido construida y puesta en marcha, las nuevas inversiones suelen estar limitadas.

3. Descripción y funcionamiento de las instalaciones

3.1. Situación y características climatológicas

La piscina Yurema Requena se encuentra localizada en la calle Joanot Martorell nº34 de la ciudad de Vila-real (Castellón de la Plana, Comunidad Valenciana). Se trata de una instalación pública, que es el principal centro deportivo del municipio y hay que destacar que su construcción se llevó a cabo en el año 1992.



Ilustración 1 - Mapa con la situación de Vila-real [1]



Ilustración 2 - Mapa con la situación de Vila-real ampliado [1]

El municipio presenta un clima mediterráneo marítimo, con veranos largos y calurosos, mientras que los inviernos son cortos y suaves. La temperatura media anual se sitúa entre los 17°C y los 19°C. Las precipitaciones son irregulares, entre los 400 mm y los 700 mm anuales, siendo estas más abundantes en primavera y otoño.

Los datos climatológicos característicos de la zona se obtienen a partir de la información de la Estación Meteorológica del municipio de Almazora [3], situado a poca distancia de Vila-real. El resumen mensual para la temperatura media ambiente, la temperatura media del agua de la red, las precipitaciones y la humedad media es el que se presenta en la siguiente tabla:

| DATOS ESTACIÓN METEOROLÓGICA ALMAZORA (CASTELLÓN DE LA PLANA) | | | | |
|---|---------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| MES | Tª media (°C) | Tª media red (°C) | Precipitaciones (mm) | Humedad media (%) |
| ENERO | 12,9 | 10,0 | 0,0 | 51% |
| FEBRERO | 13,5 | 11,0 | 4,2 | 54% |
| MARZO | 13,6 | 12,0 | 35,2 | 53% |
| ABRIL | 16,5 | 13,0 | 21,6 | 57% |
| MAYO | 18,8 | 15,0 | 28,4 | 58% |
| JUNIO | 23,4 | 18,0 | 0,6 | 53% |
| JULIO | 26,1 | 19,0 | 0,2 | 56% |
| AGOSTO | 26,0 | 20,0 | 8,2 | 61% |
| SEPTIEMBRE | 24,2 | 18,0 | 60,4 | 63% |
| OCTUBRE | 20,4 | 16,0 | 17,4 | 74% |
| NOVIEMBRE | 14,7 | 12,0 | 149,2 | 67% |
| DICIEMBRE | 12,7 | 11,0 | 100,8 | 76% |

Tabla 1 - Datos climatológicos y característicos de Vila-real

3.2. Distribución, gestión y uso de las instalaciones

En sus instalaciones cuenta con dos plantas, además de un sótano y la cubierta, en cada una de estas estancias podemos encontrar las diferentes salas y equipos.

- En la planta baja se encuentran los dos vasos, uno de 25x12,5m y otro de 12,5x6m, el Spa, una de las salas de musculación y fitness, así como los vestuarios.
- En la primera planta se hallan la sala de spinning y actividades, la otra sala de fitness, además de una pequeña oficina y dos despachos.
- La cubierta se encuentra dividida en dos zonas, en una de ellas se ubican los equipos de aire acondicionado y ventilación, y en la otra parte no hay nada debido a su inclinación.
- En el sótano se ubica la sala de máquinas, que cuenta con dos calderas, dos deshumectadoras, los depósitos de ACS, así como los sistemas de impulsión, depuración y filtrado necesarios para el funcionamiento de la piscina.

La propiedad y gestión de la instalación son públicas, esta última se realiza a través del Servei Municipal d'Esports (SME) de Vila-real, que también es responsable de la gestión de la piscina cubierta del centro de Tecnificación Deportiva, de la piscina de verano del Termet y de otras instalaciones deportivas.

El horario de apertura es el mismo a lo largo del año, independientemente del mes. A excepción de los días festivos, entre semana se puede acceder a la piscina de 06:30 a 22:00, los sábados de 07:30 a 21:00 y los domingos de 09:30 a 13:30. Durante el mes de agosto y tres semanas del mes de septiembre, la instalación permanece cerrada a los usuarios (en su lugar, pueden acudir a la piscina de verano y otras instalaciones municipales). En esta parada estival no se vacía la piscina, salvo años puntuales. No obstante, sí que se apaga el calentamiento de los vasos y del aire, pero no se hace lo propio con los equipos deshumectación, ventilación e impulsión. Adicionalmente, se aprovecha para realizar labores de mantenimiento.

El SME registra electrónicamente los accesos a sus diversas instalaciones, durante el pasado año hubo 200.000 entradas a la piscina Yurema Requena, lo que teniendo en cuenta los días anuales de apertura, representa una media de 825 usuarios al día, de los que aproximadamente el 60% hace uso de la piscina y el 40% utiliza el resto de las instalaciones.

A continuación, se resumen los horarios, días de uso y asistencia a estas instalaciones:

| HORARIO INSTALACIONES | | | |
|-----------------------|------------|------------|---------------|
| DÍAS | HORARIO | EN USO (H) | EN REPOSO (H) |
| L-V | 6:30-22:00 | 15,50 | 8,50 |
| S | 7:30-21:00 | 13,50 | 10,50 |
| D | 9:30-13:30 | 4,00 | 20,00 |
| TOTAL | | 95,0 | 73,0 |

Tabla 2 - Horario de las Instalaciones

| INFORMACIÓN ANUAL | | | |
|-------------------|------------------|---------------|-------------|
| MES | USUARIOS DIARIOS | DÍAS APERTURA | DÍAS CIERRE |
| ENERO | 900 | 29 | 2 |
| FEBRERO | 1.100 | 28 | 0 |
| MARZO | 900 | 30 | 1 |
| ABRIL | 900 | 27 | 3 |
| MAYO | 700 | 27 | 4 |
| JUNIO | 600 | 29 | 1 |
| JULIO | 500 | 31 | 0 |
| AGOSTO | 0 | 0 | 31 |
| SEPTIEMBRE | 600 | 6 | 24 |
| OCTUBRE | 900 | 29 | 2 |
| NOVIEMBRE | 1.000 | 29 | 1 |
| DICIEMBRE | 1.000 | 24 | 7 |

Tabla 3 - Días de apertura y usuarios diarios en las instalaciones

Hay que destacar que la asistencia es mayor durante los meses de invierno que durante los meses de verano, debido principalmente a la apertura de la piscina al aire libre desde el mes de junio hasta el mes de septiembre.

3.3. Funcionamiento de la piscina

La comprensión del funcionamiento de la instalación y de los diferentes equipos que la componen es importante para la correcta realización del estudio energético.

Las consignas de temperatura y humedad relativa en la piscina cubierta analizada son las siguientes:

- Temperatura del agua: 28°C
- Temperatura del aire: 30°C
- Humedad relativa: 65%

La producción de agua caliente se lleva a cabo mediante dos calderas de gas natural, éstas se emplean para calentar el agua de los vasos, para la producción de ACS (Agua Caliente Sanitaria) y para el calentamiento del aire necesario para la climatización del recinto. La existencia de dos calderas permite que en el caso de que haya alguna avería no se tenga que paralizar la actividad en las piscinas de la instalación.

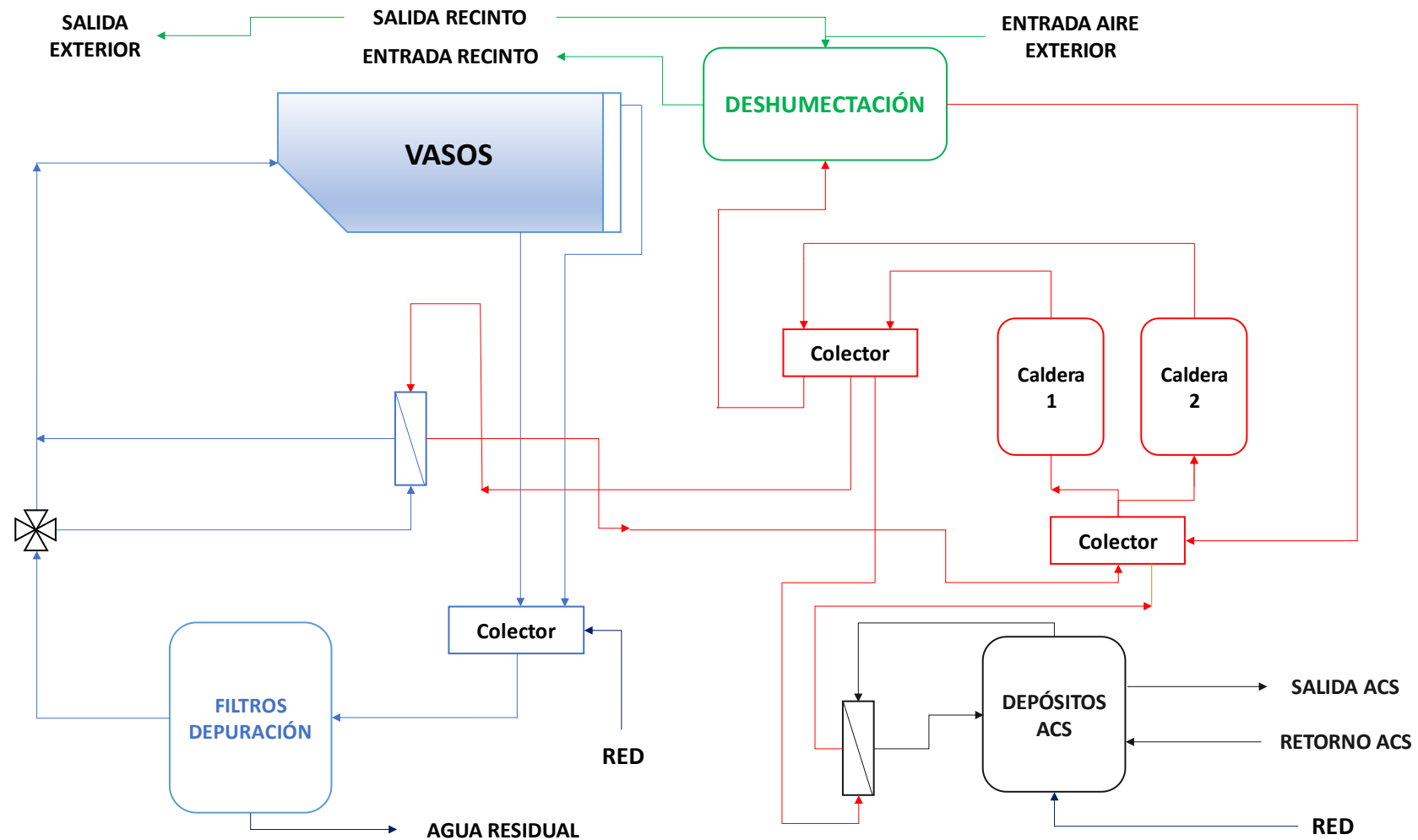
Las calderas calientan agua del circuito primario a unos 60-70°C, esta agua caliente va a parar al colector de ida, desde el cual se suministra el agua caliente a las diversas partes de la instalación que la requieren: agua de los vasos, ACS y climatización. Esta agua se encuentra en circulación, y una vez que se ha suministrado, vuelve más fría al colector de retorno. Y se repite otra vez el proceso de calentamiento de agua en las calderas.

El proceso normal es que el agua de los vasos esté en recirculación constantemente, mediante una bomba se impulsa el agua que se recoge de los rebosaderos, y antes de volver a introducirse en la piscina por las paredes laterales, el sistema de filtrado la depura. En los momentos en los que el agua de la piscina pierde temperatura, para conseguir que el agua de la piscina se sitúe en la temperatura de consigna de 28°C, se dispone de un intercambiador, en el que se calienta el agua de la piscina con agua proveniente del circuito primario. Cuando es necesario, una válvula es la que permite el paso del agua de la piscina por el intercambiador, en el caso contrario, va directamente al vaso. Además, la legislación exige por razones higiénicas y sanitarias, la renovación diaria del 5% del agua de los vasos, hecho que provoca una pérdida de calor todos los días que la instalación se encuentra operativa.

El ACS es el agua que se utiliza en la ducha y en los vestuarios, tiene que cumplir unas exigencias higiénicas, y para que no crezcan bacterias, se acumula y mantiene en los depósitos a 60°C. Para mantener el agua a la misma temperatura se por un intercambiador de calor que se calienta con agua procedente del circuito primario. Para la acumulación de ACS, se dispone en el sótano de dos acumuladores de 2.000 litros.

La consigna de temperatura y humedad relativa en el recinto que alberga los vasos es de 30°C y 65%, respectivamente. La temperatura del aire es superior en 2°C a la del agua para evitar sensación de frío cuando se sale de la piscina. Al igual que ocurre con el agua, para cumplir con la normativa y mantener unas condiciones higiénicas, el aire del recinto también se renueva. Para ello, en la deshumectadora se introducen dos caudales de aire, uno procedente del exterior y otro del retorno de la piscina, se mezclan, y después se filtran. Dentro de la máquina se pasa por una batería de frío para quitarle humedad al aire y posteriormente se calienta en una batería de calor para que se introduzca en el recinto a la temperatura deseada.

En la siguiente ilustración se muestra un esquema que resume el funcionamiento de la instalación:

*Ilustración 3 – Esquema de funcionamiento de la piscina*

4. Demanda y consumo energético

4.1. Demanda térmica

Una vez comprendido el funcionamiento de la instalación, ya se conoce que los tres demandantes de energía térmica son: el agua de los vasos, la climatización del recinto y la producción de ACS.

Los principales factores que afectan a la correcta climatización de piscinas cubiertas son: la elevada evaporación del agua de los vasos y la poca vestimenta que tienen los bañistas, por lo que, para conseguir unas condiciones apropiadas, el objetivo será:

- Conseguir una temperatura y humedad ambientales adecuadas
- Mantener la temperatura del agua del vaso
- Renovar el aire del recinto
- Evitar corrientes de aire sobre la lámina de agua y en la zona de ocupación
- Impedir que se produzcan condensaciones en los cerramientos del recinto.

Por otro lado, el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) [2], establece las condiciones del agua y climatización en las piscinas climatizadas. Y en sus IT (Instrucciones Técnicas) 1.1.4.1.2 y 1.1.4.3.2 indica que se debe de cumplir con los siguientes requisitos:

- Temperatura del agua: de 24 a 30°C en función del uso principal de la piscina. Esta se medirá en el centro de la piscina y a unos 20 cm por debajo de la lámina de agua.
- Temperatura del aire: entre 1°C y 2°C por encima de la del agua, con un máximo de 30°C.
- Humedad relativa: inferior al 65%.

Estas condiciones se establecen debido a que hay una relación directa entre el agua evaporada de la piscina y las condiciones de temperatura del agua, y de temperatura y humedad del aire ambiente. Además, se intenta evitar que los usuarios tengan sensación de frío al salir del agua.

Tal y como se ha indicado antes, en la instalación estudiada, el agua y el aire se calientan mediante dos calderas de gas natural de 370 kW de potencia. La energía térmica producida

por estas calderas compensa las pérdidas de calor que se producen en el agua de los vasos, en el aire del recinto y con el consumo de ACS. Estas quedan resumidas en la siguiente ilustración.

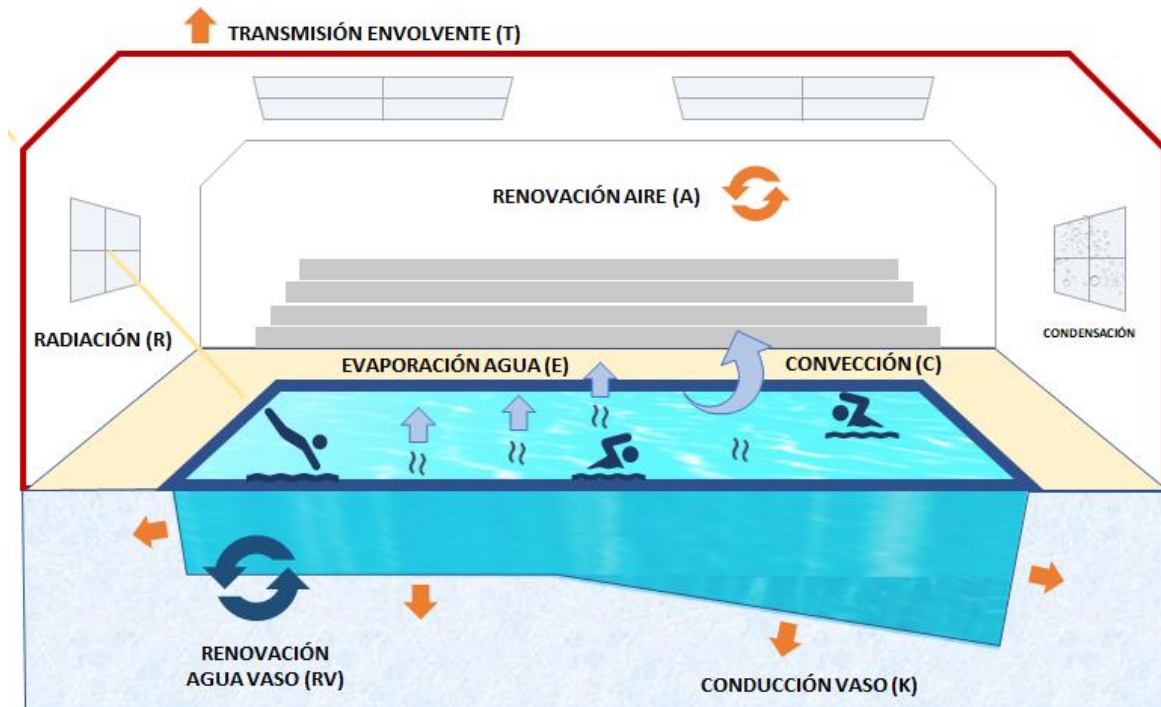


Ilustración 4 - Pérdidas de calor en una piscina climatizada [4]

4.1.1. Pérdidas por evaporación del agua de los vasos

En toda piscina tiene lugar el fenómeno de la evaporación, el agua superficial del vaso se evapora y produce una capa de aire saturado de humedad, y el agua contenida en esta capa de aire pasa al ambiente más seco. Este efecto incrementa y se maximiza cuanto mayor sea la ocupación de la piscina, esto se debe a que el chapoteo y las salpicaduras en las piscinas provocan una mayor interacción entre agua y aire en flujo turbulento, lo que da lugar a una mayor evaporación.

Adicionalmente, hay elementos que aumentan la humedad ambiente y que se tienen que tener en cuenta a la hora de calcular el incremento de humedad absoluta, éstos son:

- La carga latente de los usuarios de la piscina, así como de los espectadores.
- El aire exterior empleado en la ventilación puede tener una mayor humedad absoluta que el aire del interior, esto puede provocar un incremento de la humedad ambiental.

Para calcular la velocidad de evaporación del agua de los vasos hay varias alternativas, finalmente se ha utilizado la ecuación de Bernier para piscinas cubiertas debido a que es la más utilizada en este tipo de cálculos, ya que diferencia los momentos en los que la piscina se encuentra en reposo y en los que está ocupada.

$$M_E = S \cdot [(16 + 133 \cdot n) \cdot (W_E - G_A \cdot W_{AS})] + 0,1 \cdot N \quad (1)$$

Donde:

- M_E : masa de agua evaporada (kg/h)
- S : superficie de lámina de agua (m^2), 312,5 m^2 para el vaso grande y 75 m^2 para el pequeño
- n : cantidad de usuarios por m^2 de superficie de lámina.
 - Vaso grande: 36 pers/312,5 m^2 durante el año y 15 pers/312,5 m^2 (jun-sept)
 - Vaso pequeño: 8 pers/75 m^2 durante todo el año
- W_E : humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua (0,024 kg_{H_2O}/kg_{AIRE}), se puede consultar en el Anexo de tablas.
- W_{AS} : humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire (0,027 kg_{H_2O}/kg_{AIRE}), se puede encontrar en el Anexo de tablas.
- G_A : Grado de saturación del aire = 65%
- N : número total de espectadores.
 - Vaso grande: 18 personas durante el año y 8 entre junio y septiembre
 - Vaso pequeño: 3 personas durante todo el año

A partir de estos datos, se obtiene la velocidad de evaporación en los vasos:

- Vaso grande:

| OCT-MAY | |
|-------------|--------------|
| VASO GRANDE | M_E (kg/h) |
| Reposo | 32,25 |
| En uso | 64,93 |

Tabla 4 - Velocidad de evaporación del agua del vaso grande (oct-may)

| JUN-SEPT | |
|-------------|--------------|
| VASO GRANDE | M_E (kg/h) |
| Reposo | 32,25 |
| En uso | 45,92 |

Tabla 5 - Velocidad de evaporación del agua del vaso grande (jun-sept)

- Vaso pequeño:

| VASO PEQUEÑO | M_E (kg/h) |
|--------------|--------------|
| Reposo | 7,74 |
| En uso | 14,90 |

Tabla 6 - Velocidad de evaporación del agua del vaso pequeño

Una vez obtenida la velocidad de evaporación del agua en las diferentes condiciones que presentan los vasos, se pueden calcular las pérdidas de calor por evaporación que tienen los vasos mediante la siguiente fórmula:

$$Q_E = M_E \cdot C_{VAP} \quad (2)$$

El calor de vaporización del agua a 28°C es 0,6762 kWh/kg (Anexo de tablas) y con los datos calculados para la velocidad de evaporación, se obtienen los siguientes resultados:

- Pérdidas por evaporación por unidad de tiempo en función de las condiciones:

| Q_E unit (kW) | VASO GRANDE (OCT-MAY) | VASO GRANDE (JUN-SEPT) | VASO PEQUEÑO |
|-----------------|-----------------------|------------------------|--------------|
| En reposo | 21,81 | 21,81 | 5,23 |
| En uso | 43,91 | 31,05 | 10,08 |

Tabla 7 - Pérdidas por unidad de tiempo debido a la evaporación del agua

- A partir de los horarios y condiciones de funcionamiento durante el año (Tabla 2 y Tabla 3), las pérdidas por evaporación anuales son:

| | Q_E (kWh) | % |
|--------------------|-------------------|-------------|
| VASO GRANDE | 237.418,98 | 80% |
| VASO PEQUEÑO | 57.938,48 | 20% |
| En reposo | 95.130,92 | 32% |
| En uso | 200.226,55 | 68% |
| TOTAL ANUAL | 295.357,46 | 100% |

Tabla 8 - Pérdidas anuales por evaporación del agua en los vasos

El detalle y la evolución mensual se pueden consultar en el Anexo de cálculos (pág. 88).

4.1.2. Pérdidas por renovación del agua de los vasos

La normativa obliga a la reposición diaria del 5% del volumen total de agua en los vasos por razones sanitarias e higiénicas. Consecuentemente, esta renovación de agua implica unas

pérdidas importantes de calor, que dependerá principalmente de la diferencia de temperaturas entre el agua de la piscina y el agua de la red, así como del volumen a reponer diariamente.

Esta pérdida de calor diaria se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{REN} = V_{REN} \cdot \rho \cdot C_E (T_{AGUA} - T_{RED}) \quad (3)$$

Donde:

- V_{REN} : volumen de agua a renovar en m^3 (5% del volumen total de cada vaso)
- ρ : densidad del agua (1.000 kg/m^3)
- C_E : calor específico del agua ($1,163 \text{ Wh/kg}^\circ\text{C}$)
- T_{AGUA} : temperatura del agua en el vaso (28°C)
- T_{RED} : temperatura media del agua de red en Vila-real (en la Tabla 1)

Teniendo en cuenta los días de funcionamiento anuales de la piscina y la evolución de la temperatura en la red de agua, se calcula las pérdidas por renovación de agua anuales:

| | $Q_{REN} \text{ (kWh)}$ |
|---------------------|-------------------------|
| VASO GRANDE | 133.552,38 |
| VASO PEQUEÑO | 13.355,24 |
| TOTAL ANUAL | 146.907,62 |

Tabla 9 - Pérdidas por renovación del agua de los vasos

Un mayor detalle y los datos mensuales se pueden encontrar en Anexo de cálculos (pág. 89).

4.1.3. Pérdidas por radiación de calor

La fórmula de Stefan-Boltzmann permite hallar las pérdidas que sufren los vasos consecuencia de la radiación.

$$Q_{RAD} = S \cdot \sigma \cdot \varepsilon (T_{AGUA}^4 - T_{CERR}^4) \quad (4)$$

Donde:

- S : superficie de lámina de agua (m^2), igual que en la ecuación (1)
- σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$)
- ε : emisividad de la superficie, agua (0,95)
- T_{AGUA} : temperatura del agua (301°K)
- T_{CERR} : temperatura superficial de los cerramientos (300°K)

Estas pérdidas de calor se calculan en los meses que la instalación se encuentra operativa, carece de interés hacerlo mientras las calderas están apagadas. Los resultados por unidad de tiempo y anuales son los siguientes:

| | Q_{RAD} unit (kW) | Q_{RAD} (kWh) |
|---------------------|----------------------------------|------------------------------|
| VASO GRANDE | 1,83 | 13.593,28 |
| VASO PEQUEÑO | 0,44 | 3.262,39 |
| TOTAL ANUAL | - | 16.855,67 |

Tabla 10 - Pérdidas por unidad de tiempo y anuales debido a la radiación de calor

Como se puede ver, las pérdidas por radiación no son tan elevadas, ya que la normativa obliga a que la diferencia de temperaturas entre el agua y el aire del recinto sea pequeña.

El detalle y la evolución mensual se pueden consultar en el Anexo de cálculos (pág. 89).

4.1.4. Pérdidas por convección de calor

Se corresponde con el intercambio de calor entre el agua de los vasos y el aire ambiente del recinto, causado por la diferencia de temperaturas existente. Debido a las exigencias del RITE, se da la circunstancia de que, en este caso, tiene lugar una ganancia de calor, en lugar de pérdidas. Su cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{CONV} = 0,6246 \cdot S (T_{AGUA} - T_{AIRE})^{\frac{4}{3}} \quad (5)$$

Donde:

- 0,6246 es el coeficiente de transferencia de calor por convección en W/m²°K para aire en condiciones de poco movimiento
- S: superficie de lámina de agua (m²), igual que en la ecuación (1)
- T_{AGUA}: temperatura del agua (28°C)
- T_{AIRE}: temperatura del aire del recinto (30°C)

Al igual que en las pérdidas por radiación, estas ganancias de calor se calculan en los meses que la instalación se encuentra operativa. El resultado por unidad de tiempo y anual es:

| | Q_{CONV} unit (kW) | Q_{CONV} (kWh) |
|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| VASO GRANDE | -0,49 | -3.659,30 |
| VASO PEQUEÑO | -0,12 | -878,23 |
| TOTAL ANUAL | - | -4.537,53 |

Tabla 11 - Ganancias por unidad de tiempo y anuales debido a la convección de calor

Un mayor detalle y los datos mensuales se pueden encontrar en Anexo de cálculos (pág. 90).

4.1.5. Pérdidas por conducción de calor

Las pérdidas por conducción tienen lugar a través de las paredes y el fondo de la piscina. Por lo tanto, depende principalmente de las características constructivas de los vasos, así como del coeficiente de transmisión térmica del material utilizado. En el caso estudiado, el vaso está construido en el sótano del edificio a base de hormigón y una capa de azulejos. Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$Q_{COND} = S_{CERR} \cdot K_{CERR} (T_{AGUA} - T_{SÓTANO}) \quad (6)$$

Donde:

- S_{CERR} : superficie de cerramiento del vaso (m^2), 447,50 m^2 para el vaso grande y 102,75 m^2 para el pequeño
- K_T : coeficiente de transmisión de calor para la capa de azulejos sobre base de hormigón (1,50 W/ m^2 °C)
- T_{AGUA} : temperatura del agua (28°C)
- $T_{SÓTANO}$: temperatura exterior al cerramiento, es decir, la temperatura del sótano (se puede consultar en el Anexo de cálculos, pág. 91)

Los resultados anuales son los siguientes:

| | Q_{COND} (kWh) |
|---------------------|------------------|
| VASO GRANDE | 26.098,20 |
| VASO PEQUEÑO | 5.992,38 |
| TOTAL ANUAL | 32.090,58 |

Tabla 12 - Pérdidas de calor anuales por conducción de calor en los vasos

Debido a que la temperatura en el sótano evoluciona a lo largo del año, las pérdidas por conducción evolucionan de forma diferente cada mes. Un mayor detalle se puede encontrar en el Anexo de cálculos (pág. 91).

4.1.6. Pérdidas de calor por renovación del aire

Como se ha visto anteriormente, las pérdidas por evaporación de agua son muy representativas en una piscina cubierta, esto implica que sea necesaria la eliminación de esta agua evaporada, con el fin de mantener la humedad relativa en torno al 65%. De esta forma, se evita la condensación del agua sobre las superficies del recinto, así como la disminución del confort en la piscina.

La renovación del aire permite asegurar que el recinto tiene una calidad aceptable de aire para los diferentes usuarios, esto se consigue realizando un aporte de aire exterior y sacando parte del aire interior. Así pues, se garantiza la recirculación y la ventilación. Al sacar aire del interior que se encuentra en las condiciones deseadas de temperatura y humedad, para introducir aire del exterior que debe ser tratado, se producirá una pérdida de calor.

En la IT (Instrucción Técnica) 1.1.4.2.2 del RITE [2] se categoriza la calidad del aire interior de los edificios en función de su uso, en el caso de las piscinas, la categoría de calidad del aire es IDA 2 (aire de buena calidad). Por otro lado, en la IT 1.1.4.2.3 [2] se establece el caudal mínimo de aire exterior de ventilación para las diferentes calidades de aire previamente clasificadas, para las piscinas climatizadas, el aire exterior de ventilación necesario para la dilución de contaminantes será de 2,5 dm³/s por metro cuadrado de superficie de la lámina y de la playa (sin incluir zona de espectadores).

Las pérdidas por renovación del aire se obtienen aplicando la siguiente fórmula:

$$Q_{REN_AIRE} = q \cdot S_{REN_AIRE} \cdot \rho \cdot C_E (T_{INT} - T_{EXT}) \quad (7)$$

Donde:

- q: caudal de aire exterior, establecido por el RITE [2] (0,0025 m³/s)
- S_{REN_AIRE}: superficie de lámina + playa (312,5 m² + 75 m² (vasos) + 100 m² (playa))
- ρ: densidad del aire (1,2 kg/m³)
- C_E: calor específico del aire (1,01 kJ/kg°C)
- T_{INT}: temperatura interior del recinto, es decir, 30°C
- T_{EXT}: temperatura exterior, se puede consultar en la Tabla 1

| | |
|--------------------|-----------------------------------|
| | Q_{REN_AIRE} (kWh) |
| TOTAL ANUAL | 123.410,60 |

Tabla 13 - Pérdidas de calor por renovación del aire del recinto

La evolución mensual se debe a que la temperatura exterior varía a lo largo del año. El detalle mensual se puede consultar en el Anexo de cálculos (pág. 93).

4.1.7. Pérdidas de calor a través de los cerramientos del recinto

La transmisión de calor a través de las paredes del recinto que alberga la piscina provoca pérdidas de calor en el aire. Estas se producen a lo largo del año, pero es de interés su análisis durante los meses que la piscina está operativa, independientemente de la ocupación.

La fachada y la cubierta del edificio están compuestas por los siguientes materiales: hormigón ligero, ladrillo, vidrio y paneles sándwich.

El cálculo de las pérdidas por cada una de las paredes se realiza a partir de la ecuación de transferencia de calor por conducción para el caso unidimensional, teniendo en cuenta la proporción de cada material.

$$Q_{CERR} = S_{CERR} \cdot K (T_{INT} - T_{EXT}) \quad (8)$$

Donde:

- S_{CERR} : superficie del cerramiento, varía en las diferentes fachadas del edificio
- K : coeficiente de transmitancia térmica de la pared (W/m^2K)
 - Ladrillo: $0,43 W/m^2K$
 - Hormigón: $0,68 W/m^2K$
 - Vidrio: $2,30 W/m^2K$
 - Panel Sándwich: $0,25 W/m^2K$
- T_{INT} : temperatura interior del recinto, es decir, $30^{\circ}C$
- T_{EXT} : temperatura exterior, se puede consultar la evolución mensual en la Tabla 1

De forma que las pérdidas anuales a través de cada una de las fachadas son:

- Fachada Este y Oeste:
 - Superficie: $165 m^2$
 - Composición: Ladrillo (85%) y Vidrio (15%)
 - $K_{ESTE} = K_{OESTE} = 0,71 W/m^2K$

| Q_{FACH_ESTE} (kWh) | Q_{FACH_OESTE} (kWh) |
|------------------------|-------------------------|
| 10.927,24 | 10.927,24 |

Tabla 14 - Pérdidas de calor anuales a través de las fachadas Este y Oeste

- Fachada Sur:
 - Superficie: $276,34 m^2$
 - Composición: Ladrillo (60%), Hormigón ligero (20%) y Vidrio (20%)
 - $K_{SUR} = 0,85 W/m^2K$

| Q_{FACH_SUR} (kWh) |
|-----------------------|
| 22.007,88 |

Tabla 15 - Pérdidas de calor anuales a través de la fachada Sur

- Fachada Norte:
 - Superficie: 110,54 m²
 - Composición: Ladrillo (75%) y Vidrio (25%)
 - $K_{\text{NORTE}} = 0,90 \text{ W/m}^2\text{°K}$

| $Q_{\text{FACH_NORTE}}$ (kWh) |
|--------------------------------|
| 9.258,31 |

Tabla 16 - Pérdidas de calor anuales a través de la fachada Norte

- Cubierta:
 - Superficie: 932,20 m²
 - Composición: Panel Sándwich (100%)
 - $K_{\text{CUBIERTA}} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{°K}$

| Q_{CUBIERTA} (kWh) |
|-----------------------------|
| 21.809,61 |

Tabla 17 - Pérdidas de calor anuales a través de la Cubierta

Como se puede comprobar, las pérdidas varían en función de la composición y superficie de cada una de las fachadas, el resumen anual a través de todas ellas es el siguiente:

| | $Q_{\text{CERRAMIENTOS}}$ (kWh) |
|--------------------|---------------------------------|
| TOTAL ANUAL | 74.930,28 |

Tabla 18 - Resumen anual pérdidas de calor a través de los cerramientos

La evolución mensual se puede encontrar en el Anexo de cálculos (pág. 93).

4.1.8. Demanda térmica por consumo de ACS

El calentamiento de ACS (Agua Caliente Sanitaria) de esta instalación se lleva a cabo mediante calderas de gas natural. Tal y como se ha indicado en el punto 3.3, por condiciones sanitarias e higiénicas la temperatura de acumulación será de 60°C. La instalación de producción y acumulación de ACS debe garantizar:

- Una temperatura de agua suficiente.
- La disponibilidad de ACS en todo momento.
- El suministro asegurado frente a variaciones en la demanda.

Por otro lado, la Guía Técnica del ACS Central [5], estima una demanda por usuario en vestuarios y duchas colectivas de 15 l/día de agua a 60°C.

También hay que tener en cuenta que no todas las personas que hacen uso de las instalaciones consumen ACS, según los responsables de la piscina, aproximadamente el 65% de las personas que entran en el edificio utilizan los vestuarios a diario.

A partir de esta información, se puede obtener la demanda térmica derivada de la producción y consumo de ACS empleando la siguiente fórmula:

$$Q_{ACS} = n \cdot V \cdot C_E (T_{ACUM} - T_{RED}) \quad (9)$$

Donde:

- n: 65% de usuarios diarios de las instalaciones de la piscina, para el cálculo mensual también se tiene en cuenta los días de apertura (consultar en la Tabla 3).
- V: los 15 l/día-usuario, según estimaciones de la guía del ACS Central [5],
- C_E : calor específico del agua (1,163 Wh/l°C)
- T_{ACUM} : temperatura de acumulación (60°C)
- T_{RED} : temperatura media del agua de red en Vila-real, disponible en la Tabla 1

| Q_{ACS} | | | |
|------------------------|----------|----------------------------------|------------------------------|
| MES | n | Q_{ACS}/día (kWh) | Q_{ACS} (kWh) |
| ENERO | 585 | 510,3 | 14.797,7 |
| FEBRERO | 715 | 611,2 | 17.113,2 |
| MARZO | 585 | 489,9 | 14.695,7 |
| ABRIL | 585 | 479,7 | 12.950,6 |
| MAYO | 455 | 357,2 | 9.644,0 |
| JUNIO | 390 | 285,7 | 8.286,7 |
| JULIO | 325 | 232,5 | 7.206,1 |
| AGOSTO | 0 | 0,0 | 0,0 |
| SEPTIEMBRE | 390 | 285,7 | 1.714,5 |
| OCTUBRE | 585 | 449,0 | 13.022,0 |
| NOVIEMBRE | 650 | 544,3 | 15.784,2 |
| DICIEMBRE | 650 | 555,6 | 13.335,0 |
| TOTAL | | | 128.549,7 |

Tabla 19 - Evolución mensual de la demanda térmica por consumo de ACS

Durante los meses más fríos y con mayor asistencia se tiene una necesidad térmica aproximadamente un 50% superior a la de los meses de verano, esto es consecuencia de la variación de usuarios a lo largo del año, y en menor medida, de la evolución de la temperatura de la red.

4.2. Determinación de los consumos eléctricos

Los consumos eléctricos en las instalaciones de la piscina estudiada son los producidos por: las deshumectadoras, las bombas para la circulación de agua a través de los sistemas de impulsión, filtrado y depuración, la iluminación de las diferentes estancias, las unidades de ventilación que se encargan de la extracción de aire, así como los pequeños equipos y el spa.

Al igual que al calcular las necesidades térmicas del edificio, es importante conocer los horarios de funcionamiento de la piscina y los coeficientes de simultaneidad de los diferentes equipos, con el fin de determinar correctamente los consumos eléctricos.

La tarifa eléctrica contratada es la ATR 3.0 A, se trata de una tarifa que establece tres periodos de discriminación horaria (punta, llano y valle) y exige una potencia eléctrica contratada superior a 15kW. Asimismo, esta tarifa requiere la instalación de un maxímetro, cuya función es evitar que salte la luz si se utiliza una mayor potencia a la contratada. Asimismo, este aparato también permite aplicar la siguiente regla a la hora de facturar la potencia contratada:

- Si se utiliza un 85% o menos de la potencia contratada, se factura el 85%.
- Si se utiliza entre el 85% y el 105% de la potencia contratada, se facturará el porcentaje utilizado.
- Si se sobrepasa el 105%, se abonará el doble de la diferencia entre el 105% y lo empleado.

En el caso estudiado, la potencia contratada es de 99kW para cada uno de los tres periodos y se factura siempre el porcentaje utilizado, lo que es un indicativo de que la potencia está bien escogida.

Para obtener la energía eléctrica consumida por cada uno de los equipos que forma parte de la instalación, se emplea la siguiente fórmula:

$$E_{CONS} = C_S \cdot P \cdot t \quad (10)$$

Donde:

- C_S : coeficiente de simultaneidad, proporción del total de unidades de los diferentes equipos eléctricos, que funciona simultáneamente durante un periodo de tiempo.
- P : potencia eléctrica total.
- t : tiempo de funcionamiento, teniendo en cuenta los diferentes coeficientes de simultaneidad. Los horarios de funcionamiento y reposo de la piscina a lo largo del año se obtienen a partir de la Tabla 2 y de la Tabla 3.

Estas variables cambiarán en función del equipo eléctrico que se esté analizando.

A continuación, se estudia con detalle el consumo de los diferentes equipos que componen la instalación.

4.2.1. Consumo de las deshumectadoras

Las necesidades del aire ambiente del recinto exigen mantener la calidad y condiciones de temperatura y humedad para que se sitúen dentro de los valores establecidos. Para ello, es necesario renovar, tratar y deshumectar el aire, con el fin de que la temperatura y la humedad relativa en el recinto sean las adecuadas.

En este edificio, para realizar esta función tienen dos unidades Ciatesa BCP-AQUAIR 230, estas poseen una potencia de deshumidificación de 44,6 kg/h y una potencia eléctrica de 15,6 kW.

Cuando la piscina se encuentra con una elevada ocupación es necesario que funcionen las dos máquinas, en cambio cuando la ocupación disminuye considerablemente o la piscina está en reposo, es suficiente con que únicamente funcione una de las deshumectadoras. Hay que destacar que el hecho de tener una de las máquinas en funcionamiento durante las noches y los periodos de reposo provoca un elevado consumo eléctrico.

Adicionalmente, durante los meses en los que la piscina está cerrada al público, también se mantiene en funcionamiento una de las máquinas, esto se debe a que no se vacía el vaso y están en marcha los sistemas de impulsión, filtrado y depuración.

Con lo que la energía eléctrica consumida por las deshumectadoras dependerá de en gran medida del momento del día y del año, para ello se han escogido varios coeficientes de simultaneidad a partir de diferentes conversaciones con el responsable de mantenimiento de la instalación, el detalle es el siguiente:

- En los meses que van desde octubre hasta mayo, en los periodos de apertura de la piscina se ha escogido un coeficiente de simultaneidad de 0,90. Esta elección es consecuencia de que la presencia de nadadores es muy elevada a lo largo de toda la jornada debido a la gran cantidad de cursos y actividades que se llevan a cabo.
- Desde junio hasta septiembre, este coeficiente de simultaneidad se baja a 0,75, consecuencia de que la apertura de la piscina de verano provoca un descenso en los usuarios de la piscina.
- Para los periodos de reposo en los que la piscina no está operativa, así como los meses de cierre, el coeficiente de simultaneidad es de 0,50.

La potencia eléctrica total de las deshumectadoras es de 31,2 kW, por lo que aplicando estos coeficientes de simultaneidad a los diferentes periodos de funcionamiento en la fórmula (10), se obtiene la energía eléctrica consumida anualmente por las deshumectadoras:

| | E_{DESHUMECTADORAS} (kWh) |
|--------------------|--|
| En reposo | 75.470,57 |
| En uso | 105.941,83 |
| TOTAL ANUAL | 181.412,40 |

Tabla 20 - Consumo eléctrico anual de los equipos de deshumectación

Destaca el elevado consumo eléctrico del equipo de deshumectación en los periodos de desocupación de la instalación. El detalle y la evolución mensual se puede consultar en el Anexo de cálculos (pág. 96).

4.2.2. Consumo de los equipos de bombeo

El funcionamiento de los equipos de bombeo es de vital importancia para el correcto acondicionamiento de la instalación en todos sus aspectos: agua de los vasos, aire y ACS. Su principal función es la distribución de agua por los circuitos primarios, recirculación, filtrado y depuración.

En la siguiente tabla se recoge el inventario de bombas de la instalación, con su ubicación, cantidad y potencia.

| BOMBAS | | | |
|---------------------|----------|---------------|-------------------------------|
| Ubicación | n | P (kW) | P_{TOTAL} (kW) |
| VASO GRANDE | 4 | 1,50 | 6,00 |
| | 1 | 1,50 | 1,50 |
| VASO PEQUEÑO | 2 | 0,60 | 1,20 |
| JACUZZI | 1 | 1,85 | 1,85 |
| | 1 | 0,80 | 0,80 |
| CIRCUITOS PRIMARIOS | 1 | 0,74 | 0,74 |
| | 2 | 0,42 | 0,84 |
| | 2 | 0,40 | 0,79 |
| | 1 | 0,20 | 0,20 |
| | 2 | 0,25 | 0,50 |
| AGUA FRÍA | 2 | 5,50 | 11,00 |
| TOTAL | | | 25,42 |

Tabla 21 - Inventario de las bombas

Al igual que ocurriría con las deshumectadoras, las bombas no siempre están funcionando de manera simultánea. Mientras la piscina está en funcionamiento y recibiendo usuarios, la mayor parte de las bombas trabaja, para que las condiciones de confort, tanto en los vasos

como en el ambiente sean óptimas. Por otro lado, durante los periodos de reposo, una parte de las bombas sigue funcionando, se encargan del calentamiento y climatización de los vasos, evitando así, que las pérdidas de calor en el agua y en el aire deterioren las condiciones del recinto durante estos periodos, y otra parte deja de hacerlo, como las bombas del Spa.

Asimismo, durante el tiempo que la piscina cierra en verano, una pequeña parte de los equipos de bombeo sigue en marcha. Como los vasos no se vacían, aunque no se caliente el agua, sigue siendo necesario tratar, filtrar y depurar el agua de los vasos, por lo que estos equipos siguen en funcionamiento.

Al igual que antes, a partir de conversaciones con el responsable de mantenimiento, se han dado coeficientes de simultaneidad a los equipos de bombeo en los diferentes periodos y meses del año, el detalle es el que hay a continuación:

- Durante los meses que la piscina está operativa, desde septiembre hasta julio, en las horas de apertura de la piscina se ha escogido un coeficiente de simultaneidad de 0,85. Esta elección se debe a que la presencia de usuarios provoca que la mayor parte de los equipos esté en funcionamiento, pero no todos, un ejemplo es el bombeo del Spa que funciona de forma intermitente.
- Para los periodos de reposo y cierre de la piscina, el coeficiente de simultaneidad elegido es 0,50 por el menor uso de equipos.

La potencia eléctrica total del equipo de bombeo es 25,42 kW (Tabla 21), así pues, aplicando estos coeficientes de simultaneidad en los diferentes periodos de uso y reposo en la fórmula (10), se calcula la electricidad consumida anualmente por las bombas:

| | E_{BOMBAS} (kWh) |
|--------------------|---------------------------------|
| En reposo | 61.484,33 |
| En uso | 84.739,07 |
| TOTAL ANUAL | 146.223,40 |

Tabla 22 - Consumo eléctrico anual de los equipos de bombeo

El detalle y la evolución mensual se encuentra en el Anexo de cálculos (pág. 96).

4.2.3. Consumo de los equipos de ventilación

El consumo de los ventiladores viene derivado de las necesidades de renovación del aire del recinto. Como se ha visto con anterioridad, el RITE marca las exigencias de calidad y caudales de renovación, lo que implica que los ventiladores de la piscina y del sótano estén en

funcionamiento durante los meses que la piscina está operativa. En cambio, los de los vestuarios y pasillos no lo harán mientras la piscina se encuentre en situación de reposo.

El inventario de los equipos de ventilación, ubicación, potencia y cantidad es el siguiente:

| VENTILACIÓN | | | |
|--------------------|----------|---------------|--------------------|
| Ubicación | n | P (kW) | PTOTAL (kW) |
| Piscina | 6 | 0,50 | 3,00 |
| Vestuarios | 8 | 0,20 | 1,60 |
| Sotano | 8 | 0,20 | 1,60 |
| Otros | 4 | 0,10 | 0,40 |
| TOTAL | | | 6,60 |

Tabla 23 – Inventario de los equipos de ventilación

En el caso de estos equipos, se simplifican los coeficientes de simultaneidad, en el caso de que la piscina esté abierta al público el coeficiente es 1 porque los equipos están en funcionamiento constante. En cambio, en los periodos que la piscina está cerrada o en reposo, este es de 0,67 porque una parte de los equipos no están activos.

La potencia eléctrica total de los equipos de ventilación es 6,60 kW (Tabla 23), aplicando estos coeficientes de simultaneidad en los diferentes periodos de uso y reposo en la fórmula (10), se calcula la energía eléctrica consumida anualmente por los equipos de ventilación:

| | E_{VENTILACIÓN} (kWh) |
|--------------------|--------------------------------------|
| En reposo | 21.286,57 |
| En uso | 25.886,14 |
| TOTAL ANUAL | 47.172,71 |

Tabla 24 - Energía eléctrica consumida anualmente por los equipos de ventilación

Es destacable el importante consumo eléctrico de los equipos de ventilación en periodos de reposo. Un mayor nivel de detalle mensual se puede consultar en el Anexo de cálculos (pág. 97).

4.2.4. Consumo de los equipos de iluminación

El consumo eléctrico de los equipos cuya función es iluminar las diferentes estancias del edificio vendrá determinado por la potencia de las luminarias y las horas que están en uso.

Las horas de funcionamiento de la iluminación vienen marcadas por la luz solar que recibe la instalación a lo largo del año, y junto a la información facilitada por el responsable de la instalación, permite analizar el uso de la iluminación mes a mes en la siguiente tabla:

| MES | HORA SALIDA | HORA PUESTA | HORAS USO |
|------------|-------------|-------------|-----------|
| ENERO | 8:17 | 18:02 | 8,0 |
| FEBRERO | 7:54 | 18:36 | 8,0 |
| MARZO | 7:13 | 19:09 | 7,0 |
| ABRIL | 7:24 | 20:38 | 5,5 |
| MAYO | 6:46 | 21:09 | 4,0 |
| JUNIO | 6:33 | 21:30 | 2,5 |
| JULIO | 6:45 | 21:27 | 2,5 |
| AGOSTO | 7:13 | 20:57 | 4,0 |
| SEPTIEMBRE | 7:42 | 20:10 | 5,0 |
| OCTUBRE | 8:02 | 19:12 | 6,5 |
| NOVIEMBRE | 7:46 | 17:46 | 8,0 |
| DICIEMBRE | 8:15 | 17:38 | 8,0 |

Tabla 25 - Horas solares en Vila-real

El inventario por ubicación, cantidad y potencia de los equipos de iluminación es el siguiente:

| ILUMINACIÓN | | | |
|----------------|----|--------|-------------------------|
| Ubicación | n | P (kW) | P _{TOTAL} (kW) |
| SÓTANO | 20 | 0,04 | 0,72 |
| PLANTA BAJA | 28 | 0,06 | 1,62 |
| | 54 | 0,04 | 1,94 |
| | 43 | 0,06 | 2,49 |
| | 12 | 0,06 | 0,72 |
| PLANTA PRIMERA | 15 | 0,04 | 0,54 |
| | 9 | 0,06 | 0,52 |
| | 20 | 0,40 | 8,00 |
| | 46 | 0,06 | 2,67 |
| TOTAL | | | 19,23 |

Tabla 26 – Inventario de los equipos de iluminación

Los coeficientes de simultaneidad para la iluminación son los siguientes:

- En los meses que la piscina recibe usuarios es de 0,80, debido a que hay lámparas que no están en uso todo el tiempo, como las de las oficinas, vestuarios o salas de deporte.
- En los meses en los que la piscina cierra, el coeficiente pasa a ser de 0,20 porque se dejan de utilizar la mayor parte de los equipos.

Empleando en la fórmula (10) estos coeficientes de simultaneidad en los diversos periodos de uso y reposo, se obtiene la electricidad consumida anualmente por estos equipos:

| | |
|--------------------|--------------------------------------|
| | E_{ILUMINACIÓN} (kWh) |
| TOTAL ANUAL | 29.055,71 |

Tabla 27 - Energía eléctrica consumida anualmente por la iluminación

La evolución mensual del consumo se encuentra en el Anexo de cálculos (pág. 98).

4.2.5. Consumo de otros equipos eléctricos

En este apartado se calcula el consumo del resto de equipos que consumen energía eléctrica, se han clasificado en dos grupos en función de su uso durante los meses de cierre de la piscina:

- Grupo 1: aquellos que funcionan durante todo el año, como el aire acondicionado de las oficinas, secadores y tomas de corriente.
- Grupo 2: aquellos que no funcionan mientras la piscina permanece cerrada, como el spa, el aire acondicionado de las salas de fitness y el aire acondicionado de la planta baja.

La potencia de los equipos, cantidad y horas de funcionamiento se indica a continuación:

| OTROS 1 | | | | |
|--------------------|---|-------|--------|-------------------------|
| UNIDAD | n | HORAS | P (kW) | P _{TOTAL} (kW) |
| A/A Oficinas | 2 | 6 | 1 | 2,00 |
| SECADOR | 2 | 1 | 2 | 4,00 |
| TOMAS DE CORRIENTE | 9 | 6 | 0,3 | 2,70 |
| TOTAL | | | | 8,70 |

| OTROS 2 | | | | |
|-----------------|---|-------|--------|-------------------------|
| UNIDAD | n | HORAS | P (kW) | P _{TOTAL} (kW) |
| A/A Salas | 2 | 6 | 1,5 | 3,00 |
| A/A Planta Baja | 2 | 8 | 1 | 2,00 |
| JACUZZI | 1 | 4 | 1 | 1,00 |
| SAUNA | 1 | 4 | 4 | 3,50 |
| TOTAL | | | | 9,50 |

Tabla 28 - Inventario y tiempo de uso diario del resto de equipos eléctricos

El coeficiente de simultaneidad de estos equipos durante su funcionamiento es 1. Aplicando la fórmula (10) a estos equipos, se obtiene el siguiente consumo eléctrico:

| | E_{OTROS} (kWh) |
|----------------------------|--------------------------------|
| E_{OTROS 1} | 11.753,00 |
| E_{OTROS 2} | 15.028,00 |
| TOTAL ANUAL | 26.781,00 |

Tabla 29 - Consumo energía eléctrica anual del resto de equipos

La evolución mensual del consumo se encuentra en el Anexo de cálculos (pág. 97).

4.3. Análisis energético

A partir de los consumos energéticos calculados para el funcionamiento de la instalación, se van a hacer unos balances energéticos con el fin de resumir las diferentes demandas energéticas, su peso en el global de la instalación y su comparación con las facturas reales.

Este análisis ayuda a enfocar las propuestas de mejora a aquellas medidas que puedan producir un mayor ahorro energético y económico.

4.3.1. Análisis de la demanda térmica

A partir de los cálculos realizados se pueden resumir las necesidades térmicas en función de su destino (agua de los vasos, aire del recinto o ACS):

- Calentamiento de los vasos:

| | Q_E (kWh) | Q_{RAD} (kWh) | Q_{CONV} (kWh) | Q_{COND} (kWh) | Q_{REN} (kWh) | Q_{AGUA} (kWh) |
|--------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| VASO GRANDE | 237.418,98 | 13.593,28 | -3.659,30 | 26.098,20 | 133.552,38 | 407.003,54 |
| VASO PEQ. | 57.938,48 | 3.262,39 | -878,23 | 5.992,38 | 13.355,24 | 79.670,25 |
| TOTAL | 295.357,46 | 16.855,67 | -4.537,53 | 32.090,58 | 146.907,62 | 486.673,79 |
| % | 61% | 3% | -1% | 7% | 30% | 100% |

Tabla 30 - Resumen de las pérdidas de calor anuales en el agua de los vasos

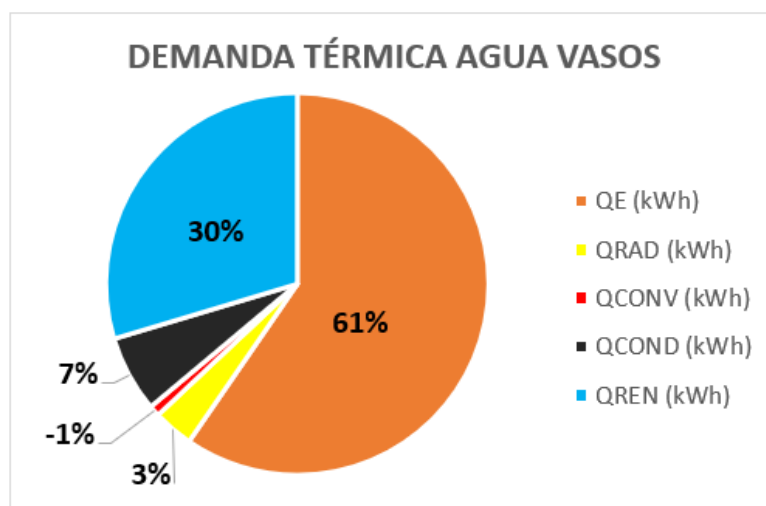


Ilustración 5 - Peso de las diferentes pérdidas de calor en el agua de los vasos

Las pérdidas por evaporación y por renovación diaria del agua son, con diferencia, las más relevantes. Entre ambas representan el 90% de las pérdidas de calor en los vasos.

- Acondicionamiento del aire:

| | Q_{REN_AIRE} (kWh) | Q_{F_ESTE} (kWh) | Q_{F_OESTE} (kWh) | Q_{F_SUR} (kWh) | Q_{F_NORTE} (kWh) | $Q_{CUBIERTA}$ (kWh) | Q_{AIRE} (kWh) |
|--------------|-----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| TOTAL | 123.410,60 | 10.927,24 | 10.927,24 | 22.007,88 | 9.258,31 | 21.809,61 | 198.340,89 |
| % | 62% | 6% | 6% | 11% | 5% | 11% | 100% |

Tabla 31 - Síntesis de las pérdidas de calor en el aire del recinto

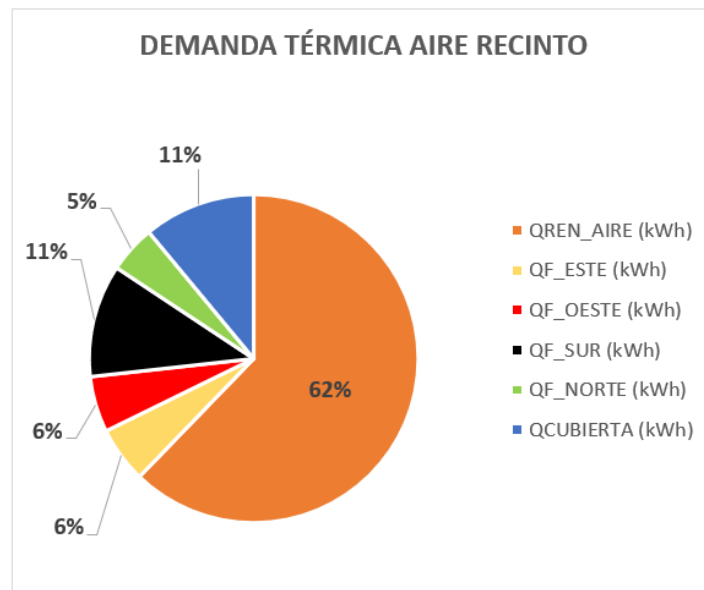


Ilustración 6 - Peso de las diferentes pérdidas de calor en el aire del recinto

Las pérdidas por renovación del aire son las más representativas debido a las exigencias del RITE en piscinas climatizadas. En cambio, las pérdidas a través de los cerramientos no son tan importantes debido principalmente a que las temperaturas en Vila-real no son extremadamente bajas ni en los meses más fríos del año.

- ACS (Agua Caliente Sanitaria):

| | Q_{ACS} (kWh) |
|--------------------|-------------------|
| TOTAL ANUAL | 128.549,68 |

Tabla 32 - Demanda térmica anual por consumo de ACS

Tal y como se ha calculado en el apartado 4.1.8, para determinar correctamente la curva anual de consumo de ACS, es importante conocer el desglose mensual de usuarios y temperatura de red (disponible en la Tabla 1 y en la Tabla 3).

A continuación, se muestran los datos mensuales de los tres tipos de necesidades térmicas, el mayor detalle permite conocer la curva de demanda durante el año y analizar los pesos.

Una vez calculada la demanda térmica total, la energía a consumir por las calderas se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{CALDERAS}} = Q_{\text{TOTAL}} / \eta \quad (11)$$

Donde:

- η : rendimiento de la caldera es del 90%

| DEMANDA TÉRMICA (kW-h) | | | | | |
|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| MES | Q _{AGUA} (kWh) | Q _{ACS} (kWh) | Q _{AIRE} (kWh) | Q _{TOTAL} (kWh) | Q _{CALDERAS} (kWh) |
| ENERO | 55.650,2 | 14.797,7 | 27.180,7 | 97.628,7 | 108.476,3 |
| FEBRERO | 50.533,1 | 17.113,2 | 24.710,4 | 92.356,7 | 102.618,5 |
| MARZO | 53.276,6 | 14.695,7 | 26.630,1 | 94.602,3 | 105.113,7 |
| ABRIL | 48.079,1 | 12.950,6 | 20.273,8 | 81.303,5 | 90.337,2 |
| MAYO | 46.309,9 | 9.644,0 | 17.035,0 | 72.988,9 | 81.098,8 |
| JUNIO | 37.829,3 | 8.286,7 | 10.364,0 | 56.480,0 | 62.755,5 |
| JULIO | 37.930,1 | 7.206,1 | 6.466,4 | 51.602,6 | 57.336,2 |
| AGOSTO | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| SEPTIEMBRE | 7.676,0 | 1.714,5 | 1.861,3 | 11.251,8 | 12.502,0 |
| OCTUBRE | 47.547,4 | 13.022,0 | 15.259,4 | 75.828,8 | 84.254,2 |
| NOVIEMBRE | 52.121,9 | 15.784,2 | 24.025,6 | 91.931,7 | 102.146,3 |
| DICIEMBRE | 49.720,1 | 13.335,0 | 24.534,3 | 87.589,4 | 97.321,5 |
| TOTAL | 486.673,8 | 128.549,7 | 198.340,9 | 813.564,4 | 903.960,4 |
| % | 60% | 16% | 24% | 100% | - |

Tabla 33 - Síntesis de la evolución mensual de la demanda térmica

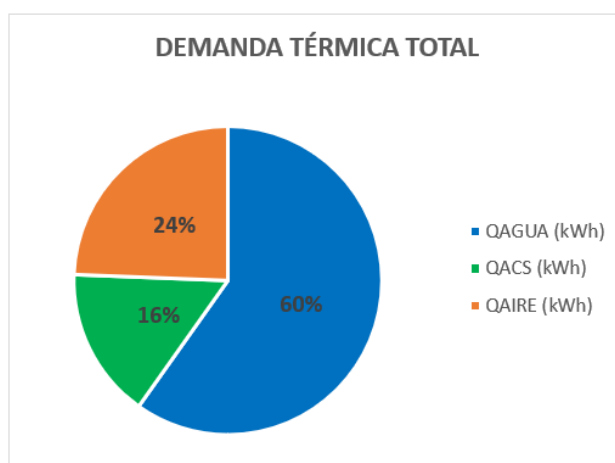


Ilustración 7 - Pesos en la demanda térmica anual

La mayor parte de la energía térmica va destinada a calentar el agua de los vasos, debido principalmente a las pérdidas por evaporación, que representan más del 33% del total.

Por otro lado, en la curva de consumo frente a las facturas reales se observa como afectan las principales variables (usuarios, temperatura exterior, temperatura de la red) a la demanda térmica. La gráfica, con forma de V, muestra la disminución de necesidad calorífica durante los meses de verano, con el vértice en el mes de agosto, en el cual se apagan las calderas.

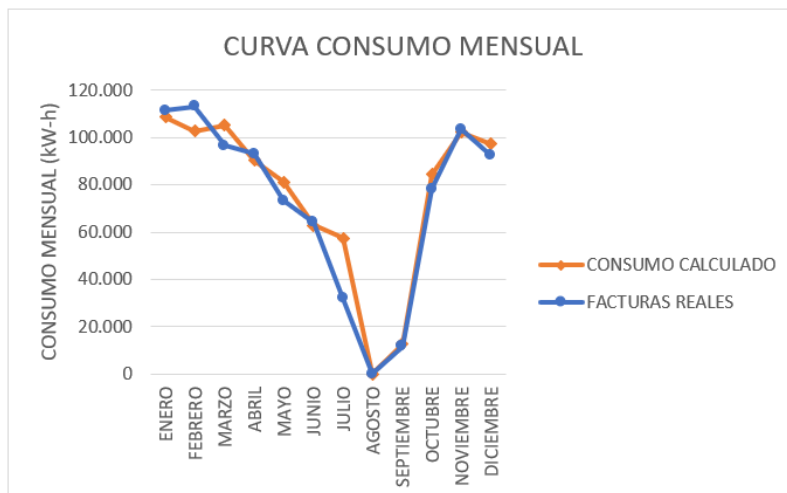


Ilustración 8 - Curva de consumo mensual calculado vs consumo real de gas natural

La comparación entre el consumo real de gas natural, desde mayo 2018 hasta mayo 2019, y el consumo calculado de la instalación es la siguiente:

| MES | Q _{CALDERAS} (kWh) | FACTURAS GAS (kWh) | VAR. (%) |
|--------------|-----------------------------|--------------------|-----------|
| ENERO | 108.476,3 | 111.365,1 | 3% |
| FEBRERO | 102.618,5 | 113.092,3 | 10% |
| MARZO | 105.113,7 | 96.375,2 | 8% |
| ABRIL | 90.337,2 | 93.116,7 | 3% |
| MAYO | 81.098,8 | 73.254,7 | 10% |
| JUNIO | 62.755,5 | 64.001,1 | 2% |
| JULIO | 57.336,2 | 31.834,3 | 44% |
| AGOSTO | 0,0 | 0,0 | - |
| SEPTIEMBRE | 12.502,0 | 11.747,8 | 6% |
| OCTUBRE | 84.254,2 | 78.273,3 | 7% |
| NOVIEMBRE | 102.146,3 | 103.504,4 | 1% |
| DICIEMBRE | 97.321,5 | 92.164,2 | 5% |
| TOTAL | 903.960,4 | 868.729,0 | 4% |

Tabla 34 - Comparación del consumo calculado vs consumo real de gas natural

Una vez obtenidos los resultados, se comentó con los responsables de la piscina, la diferencia obtenida para el mes de julio. Éstos confirmaron que en el mes de julio de 2018 la piscina cerró una semana antes de llegar a final de mes, con su consecuente impacto en el consumo de gas natural. Además, el mes de julio de 2018 fue extremadamente cálido en comparación con años anteriores, por lo que ambos efectos explican las causas de las diferencias existentes.

El resto de las variaciones mensuales son inferiores al 10%, son consecuencia principalmente, de los datos estadísticos que se usan y pueden variar de un año a otro, como: la temperatura exterior, la temperatura del agua de la red, el número de bañistas, etc. A nivel anual, la diferencia es de un 4%, esto es un indicativo de que el estudio refleja una situación energética cercana a la realidad de la instalación.

4.3.2. Análisis del consumo eléctrico

Con los cálculos realizados, se puede ver el peso de los diferentes equipos eléctricos en el consumo global de electricidad. A continuación, se muestra una tabla con el consumo mensual de cada uno de estos equipos, estos datos permiten conocer el peso que tiene cada equipo y la curva de consumo anual.

| CONSUMO ELÉCTRICO | | | | | | |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| MES | E _{DESH.} (kWh) | E _{BOMBAS} (kWh) | E _{VENT.} (kWh) | E _{ILUM.} (kWh) | E _{OTROS} (kWh) | E _{TOTAL} (kWh) |
| ENERO | 16.518,2 | 12.956,8 | 4.139,5 | 3.815,6 | 2.506,2 | 39.936,3 |
| FEBRERO | 15.225,6 | 11.921,0 | 3.792,8 | 3.446,4 | 2.357,6 | 36.743,4 |
| MARZO | 16.687,5 | 13.077,6 | 4.169,3 | 3.338,7 | 2.558,2 | 39.831,3 |
| ABRIL | 15.805,0 | 12.410,3 | 3.974,1 | 2.538,6 | 2.370,0 | 37.098,1 |
| MAYO | 16.179,4 | 12.715,4 | 4.079,7 | 1.907,8 | 2.402,2 | 37.284,5 |
| JUNIO | 14.301,9 | 12.651,8 | 4.033,9 | 1.153,9 | 2.474,0 | 34.615,4 |
| JULIO | 14.888,0 | 13.198,3 | 4.199,2 | 1.192,4 | 2.610,2 | 36.088,0 |
| AGOSTO | 11.606,4 | 9.455,5 | 3.273,6 | 477,0 | 998,2 | 25.810,6 |
| SEPTIEMBRE | 11.867,1 | 9.874,9 | 3.347,1 | 577,0 | 1.278,0 | 26.944,1 |
| OCTUBRE | 16.518,2 | 12.956,8 | 4.139,5 | 3.100,2 | 2.506,2 | 39.220,9 |
| NOVIEMBRE | 16.143,8 | 12.651,8 | 4.033,9 | 3.692,5 | 2.474,0 | 38.996,0 |
| DICIEMBRE | 15.671,3 | 12.353,1 | 3.990,2 | 3.815,6 | 2.246,2 | 38.076,5 |
| TOTAL | 181.412,4 | 146.223,4 | 47.172,7 | 29.055,7 | 26.781,0 | 430.645,2 |
| % | 42% | 34% | 11% | 7% | 6% | 100% |

Tabla 35 - Resumen de la evolución mensual del consumo eléctrico

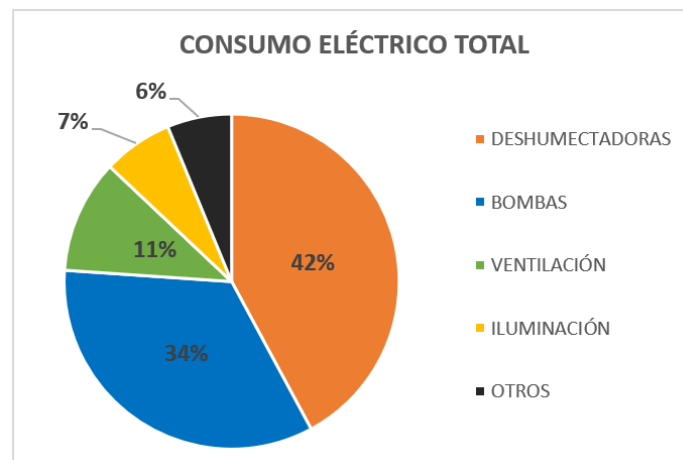


Ilustración 9 - Pesos del consumo eléctrico anual

Más del 75% de la energía eléctrica se emplea en tratar y deshumectar el aire del recinto y en el funcionamiento de los equipos de bombeo, este hecho se ve agravado por el uso de ambos equipos durante los periodos de reposo.

La curva de consumo de electricidad tiene forma de U, con una pendiente poco pronunciada debido a que los equipos de deshumectación y bombeo no llegan a apagarse durante el cierre estival de la piscina, al contrario que las calderas.

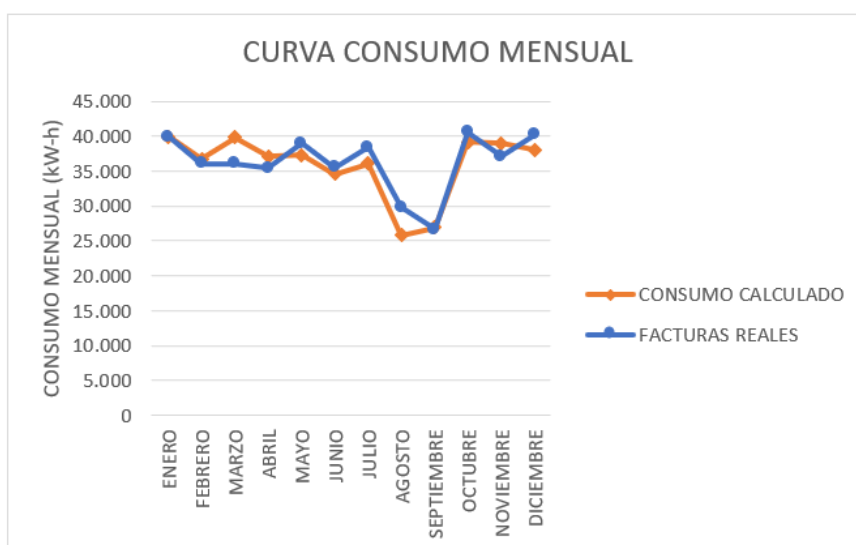


Ilustración 10 - Curva de consumo mensual calculado vs consumo real de electricidad

La comparación entre el consumo real de energía eléctrica desde mayo 2018 a mayo 2019 y el consumo eléctrico calculado para los distintos equipos es la siguiente:

| MES | E _{TOTAL} (kWh) | FACTURAS ELECT. (kWh) | VAR. (%) |
|--------------|--------------------------|-----------------------|-----------|
| ENERO | 39.936,3 | 39.922,0 | 0% |
| FEBRERO | 36.743,4 | 36.064,0 | 2% |
| MARZO | 39.831,3 | 36.063,0 | 9% |
| ABRIL | 37.098,1 | 35.463,0 | 4% |
| MAYO | 37.284,5 | 38.925,0 | 4% |
| JUNIO | 34.615,4 | 35.501,0 | 3% |
| JULIO | 36.088,0 | 38.371,0 | 6% |
| AGOSTO | 25.810,6 | 29.857,0 | 16% |
| SEPTIEMBRE | 26.944,1 | 26.632,0 | 1% |
| OCTUBRE | 39.220,9 | 40.610,0 | 4% |
| NOVIEMBRE | 38.996,0 | 37.100,0 | 5% |
| DICIEMBRE | 38.076,5 | 40.200,0 | 6% |
| TOTAL | 430.645,2 | 434.708,0 | 1% |

Tabla 36 - Comparación del consumo calculado vs consumo real de electricidad

La diferencia entre los valores calculados y los valores reales es de un 1%, esta ligera desviación, en este caso la desviación debe de estar provocada por alguna pequeña diferencia entre la realidad de los coeficientes de simultaneidad y los escogidos o algún pequeño matiz en las horas de funcionamiento de los diferentes equipos. En todos los meses, excepto en el mes completo de cierre estival (agosto), las variaciones son pequeñas lo que muestra que el análisis energético realizado se encuentra cerca de la realidad de la instalación.

5. Evaluación de alternativas y propuestas de mejora

5.1. Tecnologías y alternativas

El mayor desafío en las instalaciones polideportivas que cuentan con piscinas climatizadas es alcanzar y mantener las condiciones de confort en el agua de los vasos y en el aire del recinto, cumpliendo con los rangos establecidos por el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) [2].

Como se ha indicado en el Estado del arte, la tecnología para la generación de energía térmica ha evolucionado mucho a lo largo de los últimos años, permitiendo la aparición de nuevas opciones más eficaces y con menor impacto ambiental. Asimismo, también han surgido alternativas que posibilitan la autogeneración de electricidad de una forma eficiente.

A continuación, se van a describir diversas tecnologías que podrían utilizarse con el fin de mejorar la eficiencia energética de esta instalación.

- Cogeneración:

La cogeneración consiste en la generación simultánea en un proceso de energía térmica (en forma de calor útil) y eléctrica y/o mecánica a partir de una fuente de energía primaria, por ejemplo, el gas natural. Esta generación simultánea se realiza con un mayor rendimiento que si ambas formas de energía se generasen por separado.

Los principales elementos comunes en un sistema de cogeneración son los siguientes:

- Fuente de energía primaria, suele ser gas natural, aunque también puede utilizar otros combustibles como gasóleo o fuel-oil.
- El elemento motor, es el encargado de convertir energía química o térmica en mecánica. Puede tratarse de turbinas de gas o de vapor o de motores alternativos.
- Sistema de aprovechamiento energía mecánica, esta se suele transformar en energía eléctrica mediante un alternador. Pero también puede aprovecharse directamente mediante compresores o bombas.
- Sistema de aprovechamiento de calor, como calderas recuperadoras de calor de los gases de escape, secaderos o intercambiadores de calor.

Se trata de un modo muy eficiente de conversión de la energía, su uso presenta impactos positivos en la economía y el medio ambiente, ayuda en el consumo responsable de los recursos y en la seguridad del suministro energético. Su objetivo no es reducir el consumo de combustible en la instalación, el fin es utilizar la energía de forma más eficaz, proporcionando un ahorro económico en la instalación y un ahorro de energía primaria en el conjunto del país.

De esta manera, la implantación de un sistema de cogeneración lleva asociado un aumento en el consumo de combustible, pero este incremento se compensa con la producción de energía eléctrica, que acaba provocando un ahorro en la factura energética.

La cogeneración tiene las siguientes ventajas:

- Ahorro económico.
- Elevada eficiencia, lo que implica menor consumo de energía primaria y menores emisiones contaminantes.
- Mayor seguridad de suministro y menores pérdidas en la red eléctrica, ya que las instalaciones se encuentran más cerca del punto de consumo, posibilitando una generación de electricidad más repartida.

La principal desventaja es que requiere de una elevada inversión inicial.

- Energía solar fotovoltaica:

La energía solar fotovoltaica es una energía limpia, renovable e inagotable, transforma de manera directa la luz solar en energía eléctrica utilizando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico. Al incidir la radiación solar sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica (conforman los paneles solares), se produce una diferencia de potencial entre ambas caras que hace que los electrones saltan de un lugar a otro, generando de esta forma corriente eléctrica.

Con este fin, se utiliza un dispositivo semiconductor llamado célula o celda fotovoltaica, que puede ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo, o de otros materiales semiconductores de capa fina. Las de silicio monocristalino se obtienen a partir de un único cristal de silicio puro y alcanzan una mayor eficiencia, entre un 18-20%. Las de silicio policristalino se elaboran en bloque a partir de varios cristales, resultan más económicas y poseen una eficiencia ligeramente inferior, sobre el 16-17,5%. En cambio, las de silicio amorfo presentan una red cristalina desordenada, lo que implica menores prestaciones, con una eficiencia entre 8-9% pero con un coste económico menor.

Existen dos tipos de instalaciones fotovoltaicas, las que disponen de conexión a la red eléctrica y las que no. En el primer tipo se pueden distinguir dos clases:

- Central fotovoltaica: toda electricidad producida mediante los paneles se vierte a la red eléctrica.
- Generador con autoconsumo, parte de la energía eléctrica generada es consumida por el productor y el resto se vierte a la red. Asimismo, cuando la unidad no proporciona energía suficiente para cubrir su propia demanda, el productor la cubre con energía de la red.

En cuanto a las instalaciones sin conexión a la red eléctrica, estas operan en isla, suele ser habitual en lugares remotos o explotaciones agrícola y les permite satisfacer su demanda de electricidad.

Toda instalación fotovoltaica cuenta con tres elementos:

- Paneles fotovoltaicos: grupos de células fotovoltaicas montadas entre capas de silicio que captan la radiación solar y transforman la luz en energía eléctrica.
- Inversores: convierten la corriente eléctrica continua que se genera en los paneles en corriente alterna.
- Transformadores: eleva a media tensión (hasta 36 KV) la corriente alterna de baja tensión generada por los inversores.

En el caso de las instalaciones que operan en isla, requieren de dos elementos adicionales:

- Baterías: almacenan energía cuando la demanda es inferior a la generación eléctrica de los paneles.
- Reguladores: protegen la batería frente a sobrecargas y previenen un uso ineficiente de esta.

Las principales ventajas de esta energía son:

- Energía renovable y no contaminante que contribuye al desarrollo sostenible.
- Las instalaciones requieren de poco mantenimiento.
- Es modular, se pueden diseñar pequeños paneles para tejados hasta grandes plantas fotovoltaicas, y son fácilmente ampliables.

Por otro lado, los principales inconvenientes que presenta son la inversión inicial que conlleva, así como la baja eficiencia en comparación con otras alternativas.



Ilustración 11 - Gran central solar fotovoltaica [6]

- **Energía solar térmica:**

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía procedente del Sol para transformarla directamente en energía térmica. Para ello, los captadores o paneles solares permiten captar la radiación solar y transformarla en energía térmica que se le cede al fluido de trabajo. Por último, esta energía se puede almacenar eficientemente en un depósito o transferirla y emplearla en los puntos de consumo.

Los elementos que forman parte de una instalación térmica son los siguientes:

- Captadores: transforman la radiación solar incidente en energía térmica que calienta el fluido de trabajo.
- Circuito hidráulico: conjunto de tuberías, válvulas y bombas que permite establecer el movimiento del fluido caliente hasta el sistema de acumulación
- Sistema de intercambio: realiza la transferencia de calor, desde el circuito primario al agua caliente que posteriormente se consume.

- Sistema de acumulación: uno o varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta su utilización.
- Sistema de energía convencional de apoyo, complementa la contribución solar y garantiza el aporte de energía cuando la instalación solar térmica no es suficiente.

Las exigencias del CTE (Código Técnico de la Edificación) [7], han contribuido a la proliferación de este tipo tecnología en edificios de viviendas y en instalaciones deportivas como piscinas climatizadas.

De la energía solar térmica también es destacable su posible uso en la refrigeración, a partir del aprovechamiento térmico de la radiación solar para generar una potencia frigorífica. Las formas más comunes de realizarlo son la absorción y la adsorción.

Las ventajas más importantes de esta tecnología son:

- Generación de energía térmica sin emisión alguna de contaminantes.
- Presenta un mayor rendimiento que la energía solar fotovoltaica.
- El coste de mantenimiento es mínimo.
- En la mayor parte de los casos, vida útil superior a los 20 años.

El principal inconveniente es la elevada inversión inicial requerida.

- **Energía geotérmica:**

La energía geotérmica se define como la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie sólida de la tierra. Así pues, engloba el calor almacenado en suelos, rocas y aguas subterráneas, independientemente de su temperatura, profundidad y procedencia, pero no el contenido en masas de aguas superficiales.

Los recursos geotérmicos son la parte de la energía geotérmica que puede ser utilizada por el ser humano en condiciones técnicas y económicas. Estos recursos se clasifican en función de su nivel térmico, factor que determina su aprovechamiento.

En el caso de los recursos geotérmicos de alta temperatura ($> 150^{\circ}\text{C}$) y de media temperatura (entre $100\text{-}150^{\circ}\text{C}$), estos se emplean principalmente en la producción de energía eléctrica.

Por otro lado, los recursos geotérmicos de baja temperatura (entre 30-100°C) se utilizan para usos térmicos en sistemas de climatización y ACS. Pueden usarse directamente o mediante bombas de calor. Por último, los recursos geotérmicos de muy baja temperatura (<30°C), corresponde a la energía térmica almacenada en aguas subterráneas y en el subsuelo poco profundo, su principal aplicación es el uso térmico siempre mediante bombas de calor a sistemas de calefacción, refrigeración y ACS.

A partir de la siguiente imagen se explica el funcionamiento de una bomba de calor geotérmica:

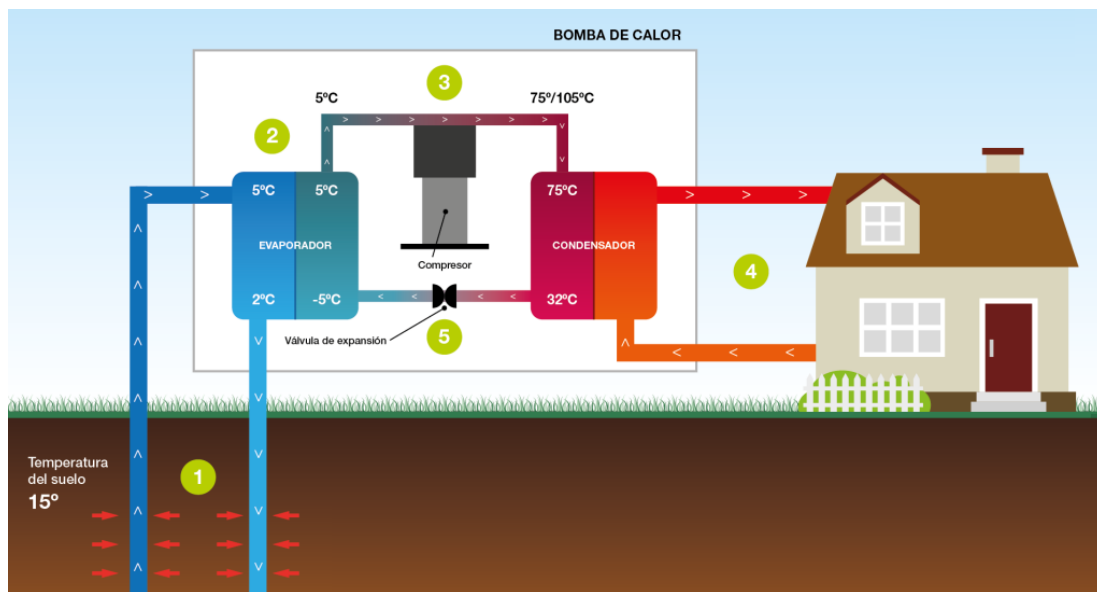


Ilustración 12 – Resumen del funcionamiento de una bomba geotérmica [8]

1. El líquido caloportador o glicol, sale del evaporador muy frío y circula a una temperatura muy baja por las sondas que van dentro de los pozos geotérmicos, como el terreno está más caliente ($\approx 15^{\circ}\text{C}$) cede calor al interior de las sondas, lo que provoca que el glicol vuelva al evaporador más caliente.
2. En el evaporador de la bomba del calor, el glicol cede el calor captado en el suelo al refrigerante que circula por el circuito frigorífico, provocando su calentamiento y posterior evaporación, transformándose a gas todavía frío.
3. El refrigerante en fase gas frío, es aspirado por el compresor, elevando su presión y temperatura y transformándose en gas caliente.
4. El gas caliente pasa al condensador, donde se transfiere el calor producido por la bomba de calor al sistema de calefacción o de generación de agua caliente. Al utilizar ese calor, el gas pierde temperatura y se queda como un líquido templado.

5. El refrigerante templado se hace pasar por la válvula de expansión, lo que provoca la disminución de su presión y temperatura, de forma que vuelva a enfriarse bruscamente volviendo de nuevo al punto de partida.

Se trata de una fuente de energía renovable que permite su aprovechamiento, tanto desde el punto de vista de aprovisionamiento energético de garantía, como desde el punto de vista térmico como alternativa de alta eficiencia para ACS y climatización.

Las principales ventajas de la energía geotérmica son:

- Energía renovable.
- Elevada eficiencia energética, las pérdidas de calor desde el fondo del pozo hasta la superficie es mínima.
- Estabilidad energética a lo largo del año, apenas varía la temperatura del subsuelo
- Requiere poco mantenimiento

En contraposición, como inconvenientes presenta que no todos los terrenos son aptos para este tipo de tecnología, así como una elevada inversión inicial.

- Biomasa:

La biomasa es un concepto muy amplio, que incluye desde los residuos procedentes de las actividades forestales, agrícolas y ganaderas, hasta la fracción orgánica de los residuos domésticos e industriales, pasando por los subproductos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera. Por sus particulares características, y por su diferente tratamiento normativo, los residuos domésticos e industriales se tratan de forma separada en el apartado de residuos.

Los principales combustibles obtenidos a partir de la biomasa son leñas, astillas, pellets, huesos de aceituno y cáscaras de frutos. La leña de madera cortada y troceada, lista para utilizarse en aparatos domésticos de combustión como estufas o chimeneas, es el producto menos elaborado y los pellets son el más elaborado, se trata de pequeños cilindros hechos con serrín, astillas u otros residuos comprimidos que pueden utilizarse como combustibles.

Durante los últimos años, se ha ido aumentando la explotación del inmenso potencial disponible y se está consolidando el mercado de la biomasa, aumentando el número de players y los volúmenes comercializados. Asimismo, se están haciendo esfuerzos para estandarizar y certificar la calidad de estos combustibles, principalmente astillas y pellets.

Las aplicaciones térmicas de la biomasa se pueden realizar principalmente a través de calderas, estufas o chimeneas. Las calderas son los únicos equipos capaces de dar al mismo tiempo ACS (Agua Caliente Sanitaria) y calefacción, tienen versatilidad a nivel de potencia desde 20 kW hasta más de 1 MW, por lo que se puede emplear desde viviendas unifamiliares hasta en instalaciones industriales o generación eléctrica. Por otro lado, las estufas y las chimeneas permiten calentar la estancia en la que se ubican y suelen tener potencias de entre 8-15 kW.

Las mayores ventajas de la energía térmica obtenida a partir de biomasa son:

- Energía renovable.
- Desarrollo socioeconómico áreas rurales y mejor gestión de los montes
- Tecnología desarrollada y fiable, así como el precio competitivo combustible

En cambio, entre los principales inconvenientes se encuentran la elevada inversión inicial y su amortización, la menor densidad energética que implica mayor necesidad de almacenamiento, así como el mayor gasto en mantenimiento frente a otras alternativas.

- Uso de una manta o cubierta isotérmica:

Consiste en la colocación sobre la lámina de agua durante los periodos de reposo de una cubierta isotérmica flotante hecha con material aislante cuya principal característica es una baja conductividad térmica, con el objetivo de disminuir las pérdidas de calor que sufre el vaso durante esos periodos.

Precisamente es esta característica la que permite actuar contra las pérdidas por evaporación que tiene la piscina, consiguiendo reducir en un 80% aproximadamente, las pérdidas por evaporación que tienen lugar durante los periodos de reposo.

A nivel térmico, las pérdidas por evaporación son las pérdidas de calor más importantes en este tipo de instalaciones, por lo que esta medida aplicada correctamente permite eliminar las necesidades de calefacción de los vasos mientras la piscina se encuentra desocupada.

En lo que respecta a electricidad, la deshumectación y renovación del aire del recinto, así como las bombas que se encargan del calentamiento, depuración y filtración del agua de los vasos están en funcionamiento durante los periodos de reposo, debido a la constante evaporación de agua de las piscinas, que provoca la necesidad de calentar agua, por un lado, y de deshumectar y tratar el aire, por otro lado, con el fin de evitar condensaciones y pérdida de las condiciones del recinto. Así aparece el mayor beneficio que conlleva el uso

de la cubierta isotérmica, al reducir drásticamente las pérdidas por evaporación, elimina la necesidad de funcionamiento los sistemas de deshumectación, ventilación y bombeo.

Con lo que esta medida aporta ahorros energéticos en los consumos de gas natural y de electricidad, lo que acarrea importantes ahorros económicos. Adicionalmente, hay que remarcar que es una medida que va alineada con el RITE [2], una de sus exigencias es que cuando una piscina cubierta esté a régimen, pero no esté en uso, la lámina de agua esté protegida con una barrera térmica.

Las principales ventajas son:

- Conservación del calor en el agua de los vasos.
- Ahorro energético (consumo de gas natural y electricidad) y económico.
- Periodo de retorno corto y elevada rentabilidad de la inversión.

En principio, no presenta ningún inconveniente más allá del tiempo de colocación y descolocación de la manta en los vasos.



Ilustración 13 - Ejemplo de aplicación de una cubierta térmica [9]

5.2. Evaluación de alternativas y propuesta de mejora

Una vez que se ha llegado a este punto, por un lado, se ha estudiado detalladamente la situación y condiciones de funcionamiento actuales de la piscina Yurema Requena, por otro lado, se han dado a conocer las principales alternativas y tecnologías que se podrían utilizar para mejorar la eficiencia energética de la instalación, tanto térmica como eléctrica.

Uno de los objetivos del presente proyecto era que la propuesta de mejoras fuera asumible por el propietario de la instalación, para poder cumplir con éste, es importante recordar los dos principales modelos de gestión de este tipo de instalaciones deportivas que se han explicado en el apartado 2.3, que son los siguientes:

- Propiedad y gestión pública
- Propiedad pública y gestión privada a través de una concesión.

La instalación estudiada pertenece al primer grupo, por lo que las inversiones a llevar a cabo están profundamente afectadas por los límites presupuestarios del ayuntamiento de Vila-real.

Para hacer frente a la demanda térmica y eléctrica simultáneamente se podría plantear la instalación de un módulo de cogeneración como alternativa. Teniendo en cuenta el funcionamiento de la instalación, para satisfacer el total de la demanda eléctrica del edificio se necesitaría un módulo cuya potencia eléctrica se sitúe en el entorno de 65-75 kW, lo que conllevaría una inversión mínima de entre 150.000-180.000 €. Es una cifra que provoca su descarte como medida propuesta.

Con el fin de aprovechar la elevada radiación solar que recibe el edificio a lo largo del año, se podrían plantear como opciones la instalación de placas solares fotovoltaicas o solares térmicas. En este caso, es la propia cubierta del edificio la que hace que se descarte. Esta se encuentra dividida en dos partes, la primera parte es una terraza que se sitúa encima de las oficinas, allí se encuentran equipos de extracción y de aire acondicionado, lo que resta una parte del espacio disponible y la segunda parte es la cubierta de la piscina, que como se ha señalado con anterioridad está fabricada por paneles prefabricados y con una forma curva, lo que dificulta la colocación de placas solares para su aprovechamiento.

Otras opciones para satisfacer parte de la demanda térmica sería sustituir una de las calderas de gas por un conjunto de calderas de biomasa o por una instalación geotérmica, en ambos casos para suplir la potencia de una de las calderas térmicas, 370 kW, sería necesaria una muy elevada que conllevaría un periodo de retorno elevado, motivo por el que se desestiman ambas alternativas.

Por último, la cubierta isotérmica es una opción que permite conseguir ahorros en el consumo de gas natural y en el consumo eléctrico, no implica ninguna modificación en las instalaciones existentes ni tampoco lleva asociada ninguna necesidad de obra. Como valor añadido respecto a las otras alternativas, la inversión asociada es inferior a los 30.000 €.

Después de la evaluación anterior, la medida que se propone como mejora es el uso de una cubierta térmica durante los periodos de reposo de la instalación.

Si la situación estudiada fuera la construcción de una nueva instalación o la sustitución de las calderas existentes por problemas en el funcionamiento, con toda probabilidad se propondría cualquiera de las opciones estudiadas, ya que son más eficientes y presentan ventajas frente a las calderas de gas convencionales. Pero al estar ambas calderas en buen estado, la situación no invita a tener que llevar a cabo grandes inversiones.

5.3. Cubierta isotérmica

A continuación, se va a analizar la demanda energética que evitaría la utilización de la cubierta isotérmica durante los periodos de reposo de la instalación. Esto permitirá calcular y analizar posteriormente el ahorro económico, la rentabilidad de la mejora y su periodo de retorno.

- Demanda térmica:

Las pérdidas de calor por evaporación, como se ha visto en el apartado 4, representan el 60% de la demanda térmica del agua de los vasos y más del 33% de la demanda térmica de la instalación.

Mediante el uso de una manta térmica fabricada con Espuma de Polietileno , reforzado por un tejido adherido de Poliéster y recubierto con un film de PE, se elimina hasta el 80% de las pérdidas de calor por evaporación en los periodos de reposo de la piscina. A partir de los cálculos realizados en el punto 4.1.1 y teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera y el horario de funcionamiento de la instalación, se puede aplicar la siguiente fórmula y obtener el ahorro energético:

$$Q_{Ahorrada} = \frac{Q_{EREPOSO}}{\eta} \cdot \% Q_{CUB} \quad (12)$$

Donde:

- η : rendimiento máquina generación térmica, en este caso, es del 90%
- $\% Q_{CUB}$: porcentaje de pérdidas evitadas por el uso de la manta térmica, 80%

| MES | $Q_{E \text{ REPOSO}}$ (kWh) | Ahorro Cubierta (kWh) |
|--------------|------------------------------|-----------------------|
| ENERO | 9.476,4 | 8.423,5 |
| FEBRERO | 7.896,3 | 7.019,0 |
| MARZO | 9.109,4 | 8.097,2 |
| ABRIL | 9.561,4 | 8.499,0 |
| MAYO | 10.210,4 | 9.075,9 |
| JUNIO | 8.827,4 | 7.846,6 |
| JULIO | 8.742,4 | 7.771,0 |
| AGOSTO | 0,0 | 0,0 |
| SEPTIEMBRE | 1.692,1 | 1.504,1 |
| OCTUBRE | 9.476,4 | 8.423,5 |
| NOVIEMBRE | 8.827,4 | 7.846,6 |
| DICIEMBRE | 11.311,4 | 10.054,6 |
| TOTAL | 95.130,9 | 84.560,8 |

Tabla 37 - Pérdidas mensuales por evaporación en reposo y ahorro de gas natural con cubierta

- Consumo eléctrico:

Como se ha avanzado en el apartado 5.1, la principal consecuencia del uso de la cubierta isotérmica es que, al limitar las pérdidas de calor por evaporación, el agua prácticamente no pierde temperatura y no aumenta la humedad relativa en el recinto. Esta nueva situación provoca que, durante los periodos de reposo se puedan apagar los sistemas de climatización y deshumectación, así como los equipos de bombeo encargados del calentamiento, dosificación y depuración del agua de los vasos. De esta forma se evitaría el consumo eléctrico de estos equipos durante las noches y los días que la piscina está desocupada.

Anteriormente, en el punto 4.2 se ha calculado el consumo eléctrico de los equipos de deshumectación, bombeo y ventilación durante los periodos de reposo. La evolución es la que sigue a continuación:

| REPOSO | ELECTRICIDAD | | | |
|--------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| MES | E _{DESH.} (kWh) | E _{BOMBAS} (kWh) | E _{VENT.} (kWh) | E _{TOTAL REPOSO} (kWh) |
| ENERO | 5.466,69 | 4.453,60 | 1.541,89 | 11.462,17 |
| FEBRERO | 4.555,20 | 3.711,03 | 1.284,80 | 9.551,03 |
| MARZO | 5.254,97 | 4.281,12 | 1.482,17 | 11.018,26 |
| ABRIL | 5.515,71 | 4.493,54 | 1.555,71 | 11.564,97 |
| MAYO | 5.890,11 | 4.798,56 | 1.661,31 | 12.349,98 |
| JUNIO | 5.092,29 | 4.148,58 | 1.436,29 | 10.677,15 |
| JULIO | 5.043,26 | 4.108,64 | 1.422,46 | 10.574,35 |
| AGOSTO | 11.606,40 | 9.455,50 | 3.273,60 | 24.335,50 |
| SEPTIEMBRE | 9.961,71 | 8.115,60 | 2.809,71 | 20.887,03 |
| OCTUBRE | 5.466,69 | 4.453,60 | 1.541,89 | 11.462,17 |
| NOVIEMBRE | 5.092,29 | 4.148,58 | 1.436,29 | 10.677,15 |
| DICIEMBRE | 6.525,26 | 5.315,99 | 1.840,46 | 13.681,71 |
| TOTAL | 75.470,57 | 61.484,33 | 21.286,57 | 158.241,47 |

Tabla 38 - Evolución mensual del consumo eléctrico durante los periodos de reposo

Al calcular los ahorros derivados del uso de la cubierta isotérmica, hay que tener en cuenta lo que ocurre durante el cierre estival de las instalaciones (agosto y tres semanas de septiembre), es decir, que la piscina no se vacía y se sigue tratando el agua de los vasos. Para aumentar la eficiencia energética durante ese tiempo, se propondrá una medida adicional a la cubierta. Por lo que se asume que, durante el paro estival, no se usa la manta.

| MES | E _{TOTAL REPOSO} (kWh) | Ahorro Cubierta (kWh) |
|--------------|---------------------------------|-----------------------|
| ENERO | 11.462,2 | 11.462,2 |
| FEBRERO | 9.551,0 | 9.551,0 |
| MARZO | 11.018,3 | 11.018,3 |
| ABRIL | 11.565,0 | 11.565,0 |
| MAYO | 12.350,0 | 12.350,0 |
| JUNIO | 10.677,2 | 10.677,2 |
| JULIO | 10.574,4 | 10.574,4 |
| AGOSTO | 24.335,5 | 0,0 |
| SEPTIEMBRE | 20.887,0 | 4.177,4 |
| OCTUBRE | 11.462,2 | 11.462,2 |
| NOVIEMBRE | 10.677,2 | 10.677,2 |
| DICIEMBRE | 13.681,7 | 13.681,7 |
| TOTAL | 158.241,5 | 117.196,3 |

Tabla 39 - Evolución mensual del ahorro consumo eléctrico

Hay que subrayar que el ahorro energético y económico derivado del uso de la manta isotérmica se vería maximizado si la piscina cerrara menos tiempo durante el verano, como ocurre en otras instalaciones.

5.4. Cierre estival

El paro de las instalaciones durante el verano es de aproximadamente 50 días, es un número considerable de días que permite plantear una alternativa a mantener el agua de los vasos y los sistemas de climatización y tratamiento del agua en funcionamiento.

La propuesta es el vaciado del agua durante el cierre estival, esto implicaría que los sistemas de climatización y ventilación, tratamiento y depuración del agua se podrían apagar durante ese tiempo. Por otro lado, aparecerían nuevos gastos debido al llenado y la puesta en marcha.

Se van a calcular los ahorros generados mediante esta medida, para realizarlo correctamente hay que considerar la tarifa eléctrica contratada, 3.0 A, calcular el coste unitario (€/kWh) ponderado durante el cierre y aplicárselo al consumo eléctrico evitado.

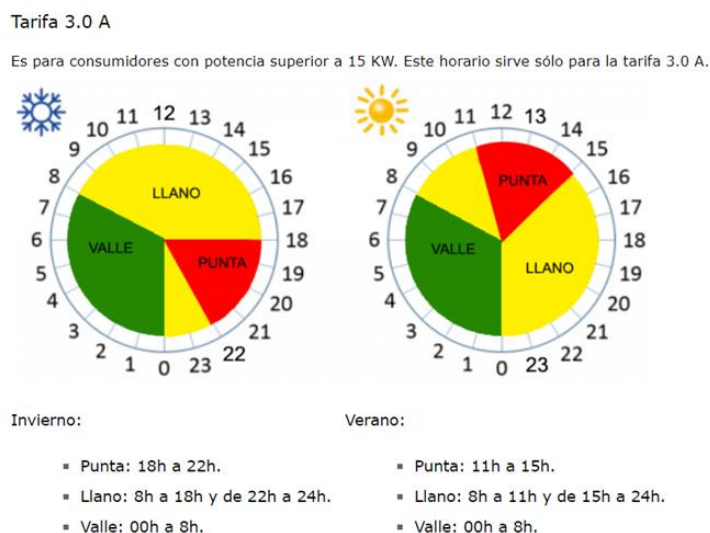


Ilustración 14 - Periodos de discriminación horaria de la tarifa 3.0 A [10]

Hay que tener en cuenta que durante el paro estival el reposo se produce las 24 horas del día.

| €/kWh | | |
|---------|---------|---------|
| VALLE | LLANO | PUNTA |
| 0,073 € | 0,100 € | 0,119 € |
| 33,3% | 50,0% | 16,7% |

| €/kWh ponderado |
|-----------------|
| 0,094 € |

Tabla 40 - Coste €/kWh durante el cierre estival

El ahorro energético del mes de agosto y septiembre se obtiene de la Tabla 39.

| CONSUMO ELÉCTRICO ESTIVAL | | | | | |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|
| MES | E _{DESH.} (kWh) | E _{BOMBAS} (kWh) | E _{VENT} (kWh) | Ahorro (kWh) | Ahorro (€) |
| AGOSTO | 11.606,4 | 9.455,5 | 3.273,6 | 24.335,5 | 2.291,5 € |
| SEPTIEMBRE | 7.969,4 | 6.492,5 | 2.247,8 | 16.709,6 | 1.573,4 € |
| TOTAL | 19.575,8 | 15.948,0 | 5.521,4 | 41.045,1 | 3.864,9 € |

Tabla 41 - Ahorro en el consumo eléctrico durante el cierre estival

Para poder comparar el ahorro, es necesario calcular los costes adicionales de puesta en marcha y de consumo de agua.

El coste del consumo de agua se resume en la siguiente tabla:

| | |
|-----------------------------------|------------------|
| Volumen agua (m ³) | 618,8 |
| Consumo agua (€/m ³) | 1,34 € |
| Canon (€/m ³) | 0,44 € |
| Cuota consumo (€/m ³) | 0,41 € |
| IVA (10%) | 0,22 € |
| Gasto agua (€) | 1.487,8 € |

Tabla 42 - Coste llenado de las piscinas

El cálculo de la energía térmica para la puesta en funcionamiento se hace con esta fórmula:

$$Q_{PM} = V \cdot \rho \cdot C_E (T_{AGUA} - T_{RED}) \cdot C_{UNIT_GAS} \quad (13)$$

Donde:

- V: volumen de agua de los vasos, (618,8 m³)
- ρ , C_E , T_{AGUA} y T_{RED} : se pueden consultar en la fórmula (3)
- C_{UNIT_GAS} : coste unitario del combustible térmico, en este caso gas natural. Se utiliza la media de las cuatro últimas facturas reales , 0,05131 €/kWh.

| | |
|-----------------------|---------|
| Q _{PM} (kWh) | 7.196,1 |
| Q _{PM} (€) | 369,3 € |

Tabla 43 - Energía térmica en la puesta en marcha de la instalación

Se confirma que con el vaciado de la piscina se conseguiría un ahorro eléctrico y económico, por contrario, se tendría un consumo adicional de energía térmica y de agua de la red.

| | |
|-------------------------|-------------------|
| Ahorro eléctrico (€) | 3.864,87 € |
| Gasto agua (€) | -1.487,85 € |
| Q _{PM} (€) | -369,25 € |
| Ahorro Total (€) | 2.007,78 € |

Tabla 44 - Ahorro por el vaciado estival

5.5. Análisis a nivel provincial

El estudio energético detallado, así como la propuesta de mejoras que se ha hecho para la instalación de la Piscina Yurema Requena, sienta las bases para ampliar el estudio y evaluar la aplicación de la cubierta isotérmica a otras instalaciones deportivas similares. Para ello, se va a realizar un análisis que se centrará en las piscinas de las poblaciones de la provincia de Castellón con un número superior a 15.000 habitantes que no disponen de manta isotérmica, de esta forma se puede asegurar que condiciones climatológicas son las mismas, ya que se trata de municipios situados cerca de la costa y separados entre ellos por menos de 100 km.

| Municipio | Población (nº) | Superficie (km ²) |
|----------------------|----------------|-------------------------------|
| Castelló de la Plana | 169.498 | 108,8 |
| Vila-real | 50.334 | 55,1 |
| Borriana | 34.464 | 47,0 |
| La Vall d'Uixó | 31.733 | 67,1 |
| Vinaròs | 28.292 | 95,5 |
| Benicarló | 26.429 | 47,9 |
| Almassora | 25.648 | 33,0 |
| Onda | 24.807 | 108,4 |
| Benicàssim | 17.964 | 36,1 |
| Nules | 13.266 | 50,5 |
| L'Alcora | 10.502 | 94,9 |
| Orpesa | 8.983 | 26,4 |
| Sogorb | 8.969 | 106,1 |
| Peníscola | 7.413 | 79,0 |
| Alcalà de Xivert | 6.796 | 167,6 |
| Moncofa | 6.092 | 14,5 |
| Almenara | 5.920 | 27,6 |
| Betxí | 5.750 | 21,4 |
| Torreblanca | 5.419 | 29,8 |
| Borriol | 5.279 | 61,0 |
| Les Alqueries | 4.466 | 12,6 |
| Altura | 3.559 | 129,5 |
| La Vilavella | 3.215 | 6,2 |
| Sant Joan de Moró | 3.084 | 29,1 |
| Cabanes | 2.913 | 131,6 |
| La Vall d'Alba | 2.781 | 52,9 |
| Xilxes | 2.658 | 13,6 |
| Morella | 2.441 | 413,5 |

Tabla 45 - Municipios con mayor población en la provincia de Castellón

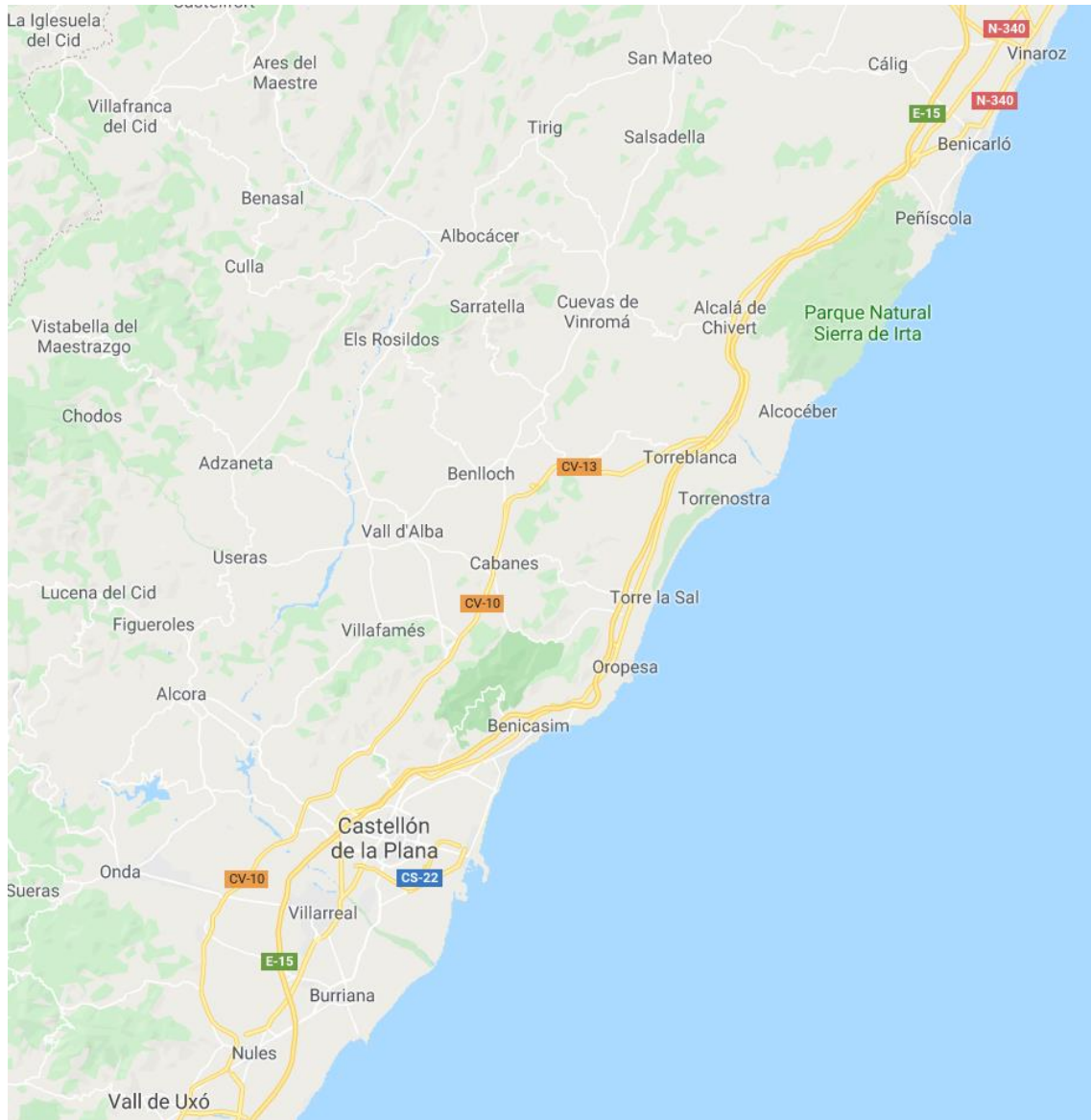


Ilustración 15 - Mapa de la Provincia de Castellón [1]

Tal y como se ha analizado, la cubierta isotérmica elimina la mayor parte de las pérdidas por evaporación durante los periodos de desocupación. La principal consecuencia es que se puede detener la climatización y deshumectación del recinto, así como los equipos de bombeo que calientan, dosifican y tratan el agua de los vasos. Esto se traduce en importantes ahorros energéticos y económicos para la instalación.

Para poder calcular los ahorros derivados del uso de la manta térmica en las diferentes instalaciones indicadas, se han averiguado los datos constructivos y el uso de la manta en cada una de ellas a partir de la realización de visitas y llamadas, esta información se refleja en la siguiente tabla:

| | SALERA | UNIVERSITAT | PROVINCIAL | CASTALIA | GRAO | VILA-REAL CTD | BURRIANA | VALL D'UXO | VINAROS | BENICARLÓ | ALMAZORA | ONDA | BENICASSIM |
|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|-----------|---------------|----------|------------|---------|-----------|----------|------|------------|
| Municipio | CASTELLÓN | CASTELLÓN | CASTELLÓN | CASTELLÓN | CASTELLÓN | VILA-REAL | BURRIANA | VALL D'UXO | VINAROS | BENICARLÓ | ALMAZORA | ONDA | BENICASSIM |
| L (m) | 50,0 | 25,0 | 25,0 | 21,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 28,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 |
| A (m) | 25,0 | 20,0 | 16,5 | 14,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 18,0 | 12,5 | 16,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
| P (m) | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 2,1 | 1,5 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| S (m²) | 1.250 | 500 | 413 | 305 | 313 | 313 | 313 | 504 | 313 | 413 | 313 | 313 | 313 |
| V (m³) | 2.500 | 900 | 701 | 639 | 469 | 563 | 563 | 907 | 563 | 743 | 563 | 563 | 563 |

Tabla 46 - Resumen de las piscinas en la provincia de Castellón a estudiar

Como se ha visto en el apartado 4.1.1, las pérdidas por evaporación de la piscina dependen de ciertos datos característicos de la piscina, como son la superficie de lámina, la temperatura del agua y del aire y la humedad relativa y la cantidad de usuarios y espectadores, cumpliendo con las exigencias del RITE [2]. Para facilitar su cálculo a gran escala, se asume la siguiente hipótesis en las variables de temperatura y condiciones del agua y del aire de todas las piscinas, así como en horario y días de funcionamiento:

| CONDICIONES PISCINAS | |
|----------------------|--------|
| T_{AGUA} (°C) | 27,0 |
| T_{AIRE} (°C) | 29,0 |
| $W_e(T_{AGUA})$ | 0,0225 |
| $W_e(T_{AIRE})$ | 0,0255 |
| G_A | 0,65 |
| C_{vap} (kW-h/kg) | 0,677 |

| HORARIO PISCINA | | | |
|-----------------|------------|------------|---------------|
| DÍAS | HORARIO | EN USO (H) | EN REPOSO (H) |
| L-V | 6:30-22:00 | 15,50 | 8,50 |
| S | 8:30-13:30 | 5,00 | 19,00 |
| D | 9:30-13:30 | 4,00 | 20,00 |
| TOTAL | | 86,5 | 81,5 |

| INFORMACIÓN ANUAL | | |
|-------------------|--------------|--------------|
| MES | DÍAS CON USO | DÍAS SIN USO |
| ENERO | 29,0 | 2,0 |
| FEBRERO | 28,0 | 0,0 |
| MARZO | 30,0 | 1,0 |
| ABRIL | 27,0 | 3,0 |
| MAYO | 27,0 | 4,0 |
| JUNIO | 29,0 | 1,0 |
| JULIO | 30,0 | 1,0 |
| AGOSTO | 0,0 | 0,0 |
| SEPTIEMBRE | 29,0 | 1,0 |
| OCTUBRE | 29,0 | 2,0 |
| NOVIEMBRE | 29,0 | 1,0 |
| DICIEMBRE | 25,0 | 6,0 |

Tabla 47 - Hipótesis asumidas en el estudio provincial

Adicionalmente, se asume que la energía térmica es aportada por calderas de gas natural.

El cálculo de la velocidad de evaporación y las pérdidas de calor por evaporación se realizará a partir de las fórmulas (1) y (2), el número de usuarios y espectadores servirá posteriormente para comprobar la máxima potencia de las máquinas deshumectadoras, pero no para el cálculo de las pérdidas por evaporación en condiciones de reposo. En base a las hipótesis consideradas, estos son los resultados que se obtienen:

| | SALERA | UNIVERSITAT | PROVINCIAL | CASTALIA | GRAO | VILA-REAL (CTD) | BURRIANA | VALL D'UXO | VINAROS | BENICARLÓ | ALMAZORA | ONDA | BENICASSIM |
|------------------------------------|-----------|-------------|------------|----------|----------|-----------------|----------|------------|----------|-----------|----------|----------|------------|
| CUBIERTA TÉRMICA | NO | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| n_{máx} | 180 | - | 56 | 49 | 42 | 42 | 42 | 56 | 42 | 56 | 42 | 42 | 42 |
| N_{máx} | 300 | - | 30 | 30 | 30 | 80 | 80 | 30 | 30 | 30 | 80 | 80 | 30 |
| M_E máx (kg/h) | 290,3 | - | 86,2 | 70,5 | 65,7 | 70,7 | 70,7 | 94,9 | 65,7 | 86,2 | 70,7 | 70,7 | 65,7 |
| M_E reposo (kg/h) | 118,5 | - | 39,1 | 28,9 | 29,6 | 29,6 | 29,6 | 47,8 | 29,6 | 39,1 | 29,6 | 29,6 | 29,6 |
| Q_E reposo (kWh) | 331.840,0 | - | 109.507,2 | 80.836,2 | 82.960,0 | 82.960,0 | 82.960,0 | 133.797,9 | 82.960,0 | 109.507,2 | 82.960,0 | 82.960,0 | 82.960,0 |

Tabla 48 - Velocidad y pérdidas por evaporación en reposo de las diferentes piscinas

Por otro lado, la potencia de los equipos de bombeo, deshumectación y ventilación se extrapolará a partir de los equipos de la piscina de Vila-real, en función de la velocidad de evaporación máxima y las dimensiones de los vasos y del recinto de las diferentes instalaciones. Y para realizar el cálculo de los consumos durante los periodos de reposo, se utilizarán los mismos coeficientes de simultaneidad que en el apartado 4.2. A partir de las hipótesis asumidas, se llega a los siguientes consumos:

| | SALERA | UNIVERSITAT | PROVINCIAL | CASTALIA | GRAO | VILA-REAL CTD | BURRIANA | VALL D'UXO | VINAROS | BENICARLÓ | ALMAZORA | ONDA | BENICASSIM |
|---------------------------------|---------|-------------|------------|----------|---------|---------------|----------|------------|---------|-----------|----------|---------|------------|
| C_s Desh. | 50% | - | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| C_s Bombas | 50% | - | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| C_s Vent. | 67% | - | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% | 67% |
| P_{Desh.} (kW) | 110 | - | 37 | 31 | 31 | 31 | 31 | 37 | 31 | 37 | 31 | 31 | 31 |
| P_{Bombas} (kW) | 70 | - | 33 | 25 | 25 | 25 | 25 | 33 | 25 | 33 | 25 | 25 | 25 |
| P_{vent.} (kW) | 11 | - | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| E_{Desh.} (kWh) | 227.511 | - | 76.527 | 64.117 | 64.117 | 64.117 | 64.117 | 76.527 | 64.117 | 76.527 | 64.117 | 64.117 | 64.117 |
| E_{Bombas} (kWh) | 144.780 | - | 68.253 | 51.707 | 51.707 | 51.707 | 51.707 | 68.253 | 51.707 | 68.253 | 51.707 | 51.707 | 51.707 |
| E_{vent.} (kWh) | 30.335 | - | 22.062 | 18.201 | 18.201 | 18.201 | 18.201 | 22.062 | 18.201 | 22.062 | 18.201 | 18.201 | 18.201 |
| E_{TOTAL} (kWh) | 402.626 | - | 166.842 | 134.025 | 134.025 | 134.025 | 134.025 | 166.842 | 134.025 | 166.842 | 134.025 | 134.025 | 134.025 |

Tabla 49 - Consumo eléctrico en reposo en las diferentes piscinas

A partir de los cálculos masivos realizados, se puede resumir el total de ahorros que implicaría el uso de las cubiertas isotérmicas en las diferentes piscinas con las condiciones supuestas.

| | $Q_{E\text{ REPOSO}}$ (kWh) |
|--------------------|-----------------------------|
| TOTAL ANUAL | 1.346.208,50 |

Tabla 50 – Pérdidas por evaporación anuales a nivel provincial

| | $Q_{EVITADAS}$ (kWh) |
|--------------------|----------------------|
| TOTAL ANUAL | 1.076.966,80 |

Tabla 51 - Pérdidas de calor evitadas por las cubiertas isotérmicas a nivel provincial

| | E_{CONS} (kWh) |
|--------------------|---------------------|
| TOTAL ANUAL | 1.975.350,74 |

Tabla 52 - Energía eléctrica evitada por las cubiertas isotérmicas a nivel provincial

6. Estudio económico y de impacto ambiental

6.1. Cubierta isotérmica en la instalación Yurema Requena

A partir de los cálculos realizados en el punto 5.3, se puede obtener el ahorro económico derivado de la disminución de pérdidas de calor por evaporación aplicando la siguiente fórmula:

$$Ahorro (\text{€}) = Q_{AHORRADA} \cdot C_{UNIT_GAS} \quad (14)$$

Donde:

- $Q_{AHORRADA}$: se ha calculado con anterioridad, consultar en el punto 5.3
- C_{UNIT_GAS} : coste unitario del combustible térmico, en este caso gas natural. Se utiliza la media de las cuatro últimas facturas reales, 0,05131 €/kWh.

| RESUMEN AHORRO GAS | | |
|--------------------|-----------------|-------------------|
| MES | kWh | € |
| ENERO | 8.423,5 | 432,23 € |
| FEBRERO | 7.019,0 | 360,16 € |
| MARZO | 8.097,2 | 415,49 € |
| ABRIL | 8.499,0 | 436,11 € |
| MAYO | 9.075,9 | 465,71 € |
| JUNIO | 7.846,6 | 402,63 € |
| JULIO | 7.771,0 | 398,75 € |
| AGOSTO | 0,0 | 0,00 € |
| SEPTIEMBRE | 1.504,1 | 77,18 € |
| OCTUBRE | 8.423,5 | 432,23 € |
| NOVIEMBRE | 7.846,6 | 402,63 € |
| DICIEMBRE | 10.054,6 | 515,93 € |
| TOTAL | 84.560,8 | 4.339,05 € |

Tabla 53 - Evolución mensual del ahorro energético y económico (gas natural)

En lo que respecta al consumo eléctrico, hay que considerar que la tarifa eléctrica 3.0 A presenta tres periodos de discriminación horaria (Ilustración 14), conociendo los horarios de funcionamiento a lo largo de los días de la semana (se puede consultar en la Tabla 2), se puede calcular la parte del tiempo que la piscina está en reposo en cada uno de los tres periodos de discriminación.

| €/kWh | | |
|---------|---------|---------|
| VALLE | LLANO | PUNTA |
| 0,073 € | 0,100 € | 0,119 € |
| 65,8% | 29,8% | 4,5% |

| €/kWh ponderado |
|-----------------|
| 0,083 € |

Tabla 54 - Coste eléctrico (€/kWh) en periodos de reposo

Teniendo cuenta el coste ponderado que se acaba de obtener, se puede calcular el ahorro económico en el consumo eléctrico asociado a la utilización de la cubierta isotérmica en los periodos de desocupación.

| RESUMEN AHORRO ELECTRICIDAD | | |
|-----------------------------|------------------|-------------------|
| MES | kWh | € |
| ENERO | 11.462,2 | 950,116 € |
| FEBRERO | 9.551,0 | 791,70 € |
| MARZO | 11.018,3 | 913,32 € |
| ABRIL | 11.565,0 | 958,64 € |
| MAYO | 12.350,0 | 1.023,71 € |
| JUNIO | 10.677,2 | 885,04 € |
| JULIO | 10.574,4 | 876,52 € |
| AGOSTO | 0,0 | 0,00 € |
| SEPTIEMBRE | 4.177,4 | 346,27 € |
| OCTUBRE | 11.462,2 | 950,12 € |
| NOVIEMBRE | 10.677,2 | 885,04 € |
| DICIEMBRE | 13.681,7 | 1.134,10 € |
| TOTAL | 117.196,3 | 9.714,58 € |

Tabla 55 -Evolución mensual del ahorro económico (consumo eléctrico)

Una vez que los ahorros energéticos y económicos se han cuantificado, se puede analizar la rentabilidad de la inversión, para ello se van a calcular el Payback (Periodo de Retorno), el VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Rentabilidad).

La inversión asociada a la cubierta isotérmica incluye la manta fabricada en espuma de Polietileno reforzado, así como varios componentes adicionales necesarios (enrolladores, cintas, borde con acabado flotante, transporte e instalación), el resumen es el siguiente:

| | |
|----------------------------|--------------------|
| INVERSIÓN (€) | 18.936,41 € |
| IVA (€) | 3.976,65 € |
| INVERSIÓN TOTAL (€) | 22.913,06 € |

Tabla 56 - Inversión total en la cubierta isotérmica

- Payback:

Como el ahorro del primer año es menor que la inversión inicial, el periodo de retorno será superior al primer año. Se calcula con la fórmula que se muestra a continuación:

$$Payback = a + \frac{I_0 - b}{F_t} \quad (15)$$

Donde:

- a: número del periodo anterior a recuperar el desembolso inicial, en este caso 1
- I_0 : inversión inicial en la cubierta isotérmica
- b: flujos de caja hasta el final del periodo a, ahorro del año 0
- F_t : flujo de caja del año en el que se recupera la inversión, ahorro del año 1

| | |
|----------------------------|--------------------|
| AHORRO AÑO 0 | 14.053,63 € |
| AHORRO AÑO 1 | 14.264,44 € |
| INVERSIÓN TOTAL (€) | 22.913,06 € |
| PAYBACK (años) | 1,62 |

Tabla 57 - Periodo de Retorno de la cubierta isotérmica

Se trata de un Payback bajo, que posibilita la recuperación de la inversión en un periodo inferior a dos años.

- VAN:

Es un criterio que ayuda a conocer la rentabilidad absoluta y viabilidad de una inversión o proyecto, a partir de la actualización de los futuros flujos de caja (cobros y pagos derivados de la inversión) con una tasa de descuento.

Se calcula para un periodo determinado de tiempo, descontando la inversión inicial y mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (16)$$

Donde:

- I_0 : inversión inicial en la cubierta isotérmica.
- n: marca el número de periodos a los que se calcula el VAN, en el presente proyecto se busca evaluar la rentabilidad a corto plazo, por lo que se calculará a 5 años.

- FC: flujo de caja en cada periodo t, en este caso son los ahorros derivados de la utilización de la manta térmica (detalle en Tabla 53 y Tabla 55), considerando un incremento anual del 1,5% en el coste unitario de la electricidad y del gas natural.
- i: tasa de descuento, en el actual entorno económico de tipos bajos, se escoge un 3%.

Si el VAN resultante es positivo, la inversión es rentable, si por el contrario es negativo, esta generará pérdidas. Los resultados se sintetizan en la siguiente tabla:

| CÁLCULO VAN | | | | | |
|-------------|-----------|---------------|------------|----------------------|--------------------|
| AÑO | €/kW-h GN | €/kW-h Elect. | FC (€) | FC con descuento (€) | VAN (€) |
| 1 | 0,0513 € | 0,0829 € | 14.053,6 € | 13.644,3 € | -9.268,75 € |
| 2 | 0,0521 € | 0,0841 € | 14.264,4 € | 13.445,6 € | 4.176,84 € |
| 3 | 0,0529 € | 0,0854 € | 14.478,4 € | 13.249,8 € | 17.426,63 € |
| 4 | 0,0537 € | 0,0867 € | 14.695,6 € | 13.056,8 € | 30.483,46 € |
| 5 | 0,0545 € | 0,0880 € | 14.916,0 € | 12.866,7 € | 43.350,15 € |

Tabla 58 – Cálculo del VAN a 5 años

El VAN a 5 años es superior al valor inicial de la inversión, esto es una clara muestra de su elevada rentabilidad.

- TIR:

Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión o proyecto, se trata de una medida ampliamente empleada en la evaluación de proyectos y que está muy relacionada con el VAN, de hecho, también se define como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (17)$$

Siendo las variables las mismas que en la fórmula (15), excepto la TIR que es el valor que buscar. En este caso, se va a calcular la TIR a 3 y 5 años, para evaluar la rentabilidad que presenta el proyecto a esos años vista.

| | |
|---------------------|------------|
| TIR (3 años) | 39% |
| TIR (5 años) | 56% |

Tabla 59 - Cálculo de la TIR a 3 y 5 años

La tasa de rentabilidad de la inversión propuesta es muy alta en ambos casos.

| EVOLUCIÓN VAN a 5 años | |
|------------------------|-------------|
| tasa de descuento (%) | VAN (€) |
| 0% | 49.495,00 € |
| 10% | 31.828,55 € |
| 20% | 20.164,26 € |
| 30% | 12.090,65 € |
| 40% | 6.278,19 € |
| 50% | 1.952,76 € |
| 60% | -1.357,86 € |

Tabla 60 - Evolución del VAN a 5 años con la tasa de interés (i)

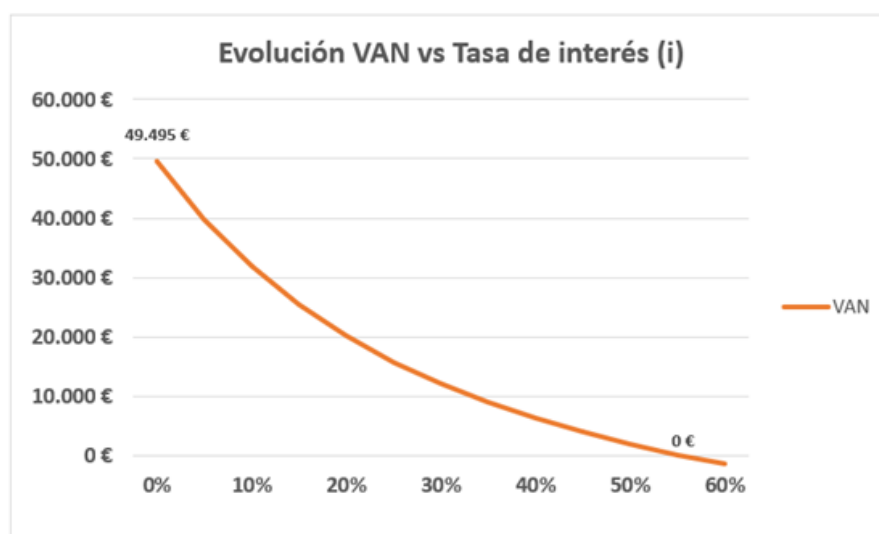


Ilustración 16 - Evolución del VAN a 5 años con la tasa de interés (i)

6.2. Cubierta isotérmica a nivel provincial

Empleando ahora las cifras obtenidas en el punto 5.5 y utilizando la fórmula (14), se puede calcular a nivel macro, el ahorro económico debido a la reducción de las pérdidas por evaporación y a la disminución del consumo eléctrico durante los periodos de reposo en las doce piscinas analizadas.

Para el precio unitario del gas natural (€/kWh) se sigue la misma hipótesis que en el punto anterior, 6.1.

| | GAS (kWh) | GAS (€) |
|---------------------|-------------|-------------|
| AHORRO ANUAL | 1.076.966,8 | 55.262,21 € |

Tabla 61 - Ahorro anual a nivel provincial (gas natural)

Como también se ha comentado en el apartado 5.5, se considera que la energía térmica para el calentamiento del agua de los vasos y del aire del recinto se realiza mediante calderas de gas natural, ya que se trata de la opción más habitual.

En cuanto a la energía eléctrica, se asume que la tarifa eléctrica contratada es la misma que en la instalación Yurema Requena, la 3.0 A, al tratarse de instalaciones similares o incluso más grandes, todas cumplen con el requisito de tener más de 15 kW de potencia eléctrica.

Asimismo, conociendo los horarios y días de funcionamiento que se han establecido a lo largo del año (Tabla 47), se puede comprobar la proporción del tiempo que las piscinas están en desocupación en cada uno de los tres periodos discriminatorios (Ilustración 14):

| €/kWh | | |
|---------|---------|---------|
| VALLE | LLANO | PUNTA |
| 0,073 € | 0,100 € | 0,119 € |
| 59,5% | 33,7% | 6,7% |

| €/kWh ponderado |
|-----------------|
| 0,085 € |

Tabla 62 - Coste eléctrico (€/kWh) en periodos de reposo

A partir del coste ponderado que se acaba de calcular y de las hipótesis de funcionamiento de la Tabla 47, se obtienen los ahorros económicos anuales asociados a la disminución de consumo eléctrico por el uso de la cubierta isotérmica en los periodos de reposo.

| | ELECTRICIDAD (kWh) | ELECTRICIDAD (€) |
|---------------------|--------------------|---------------------|
| AHORRO ANUAL | 1.975.350,7 | 168.006,97 € |

Tabla 63 -Evolución mensual del ahorro económico (consumo eléctrico)

Dado que los ahorros energéticos y económicos a nivel provincial se han cuantificado, se puede evaluar la rentabilidad de la inversión global. Con ese objetivo, también se van a calcular el Payback (Periodo de Retorno), el VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Rentabilidad).

El coste total de la cubierta isotérmica también incluye la manta fabricada en espuma de Polietileno reforzado, así como varios utillajes adicionales necesarios (enrolladores, cintas, borde con acabado flotante, transporte e instalación), la síntesis se ve en la siguiente tabla:

| | |
|----------------------------|---------------------|
| INVERSIÓN (€) | 216.252,30 € |
| IVA (€) | 45.412,98 € |
| INVERSIÓN TOTAL (€) | 261.665,28 € |

Tabla 64 - Inversión total provincial en cubierta isotérmica

- Payback:

Al igual que en el caso de la piscina Yurema Requena, como el ahorro del primer año es menor que la inversión a realizar, el periodo de retorno será superior al primer año y se calcula también con la fórmula (15).

El detalle de los resultados se enseña a continuación:

| | |
|----------------------------|---------------------|
| AHORRO AÑO 0 | 223.269,18 € |
| AHORRO AÑO 1 | 226.618,22 € |
| INVERSIÓN TOTAL (€) | 261.665,28 € |
| PAYBACK (años) | 1,17 |

Tabla 65 - Periodo de Retorno a nivel provincial de la cubierta isotérmica

A nivel provincial se obtiene un payback aún más bajo, esto se debe a dos razones principalmente. Por un lado, hay varias piscinas con mayor superficie de lámina que la piscina Yurema Requena, lo que permite maximizar el ahorro de energía térmica, y por otro lado, generalmente las piscinas sólo cierran un mes al año, esta situación permite incrementar la utilización de la cubierta y consecuentemente aumentar tanto el ahorro energético, como el ahorro económico.

- VAN:

De forma similar al punto 6.1, el VAN se calcula con la fórmula (16) y con las mismas condiciones de incremento de los costes energéticos unitario y tasa de descuento, pero con una diferencia en el número de periodos, para ser más exigente con la inversión provincial, se va a evaluar a 3 años.

Los resultados obtenidos se resumen en esta tabla:

| CÁLCULO VAN | | | | | |
|-------------|-----------|---------------|-------------|----------------------|---------------------|
| AÑO | €/kW-h GN | €/kW-h Elect. | FC (€) | FC con descuento (€) | VAN (€) |
| 1 | 0,0513 € | 0,0851 € | 223.269,2 € | 216.766,2 € | -44.899,09 € |
| 2 | 0,0521 € | 0,0863 € | 226.618,2 € | 213.609,4 € | 168.710,32 € |
| 3 | 0,0529 € | 0,0876 € | 230.017,5 € | 210.498,6 € | 379.208,91 € |

Tabla 66 - Cálculo del VAN a 3 años

El VAN a 3 años supera con creces el valor total de la inversión, esto es una muestra de la eficacia que tendría la medida a nivel macro.

- TIR:

Análogamente a lo realizado en el punto anterior, a partir del apartado 6.1 y de la fórmula (16) se va a evaluar la rentabilidad de la inversión a 3 años.

| | |
|---------------------|------------|
| TIR (3 años) | 68% |
|---------------------|------------|

Tabla 67 - Cálculo de la TIR a 3 años

En línea con el Payback y el VAN, la tasa de rentabilidad de la inversión provincial es incluso superior a la de la piscina de Vila-real.

| EVOLUCIÓN VAN a 3 años | |
|-------------------------------|---------------------|
| tasa de descuento (%) | VAN (€) |
| 0% | 418.239,62 € |
| 10% | 301.410,04 € |
| 20% | 214.878,11 € |
| 30% | 148.870,04 € |
| 40% | 97.259,86 € |
| 50% | 56.053,38 € |
| 60% | 22.557,31 € |
| 70% | -5.097,73 € |

Tabla 68 - Evolución del VAN a 3 años con la tasa de interés (i)

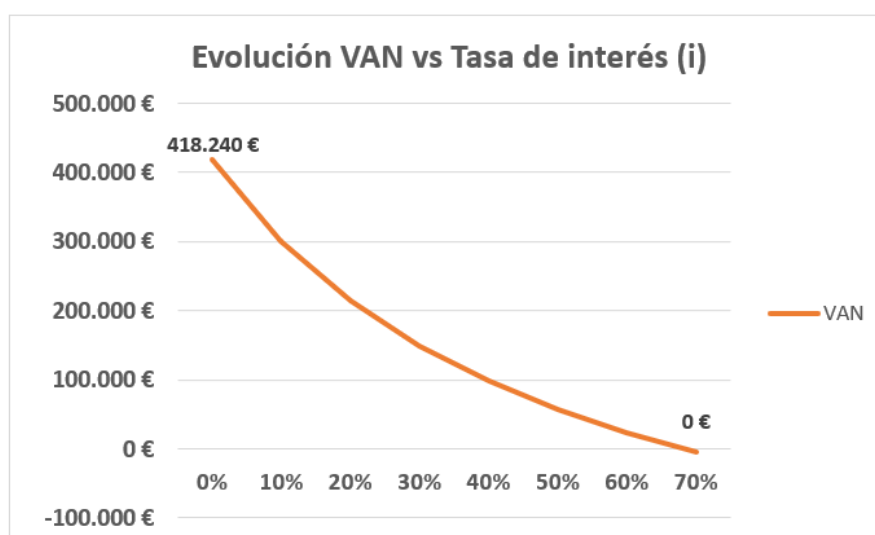


Ilustración 17 - Evolución del VAN a 3 años con la tasa de interés (i)

6.3. Impacto ambiental

El impacto ambiental es la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por una actividad o proyecto en un área determinada, de una manera más simple es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

A lo largo del desarrollo del proyecto, se ha tratado de llevar a la instalación a ser más eficiente desde el punto de vista energético. Esta búsqueda de optimización energética se ha culminado con la propuesta de mejoras que conllevan a un ahorro energético, y a su vez, económico.

Una vez que se ha identificado y cuantificado el ahorro consecuencia de la utilización de las cubiertas térmicas, es importante estudiar y analizar los impactos ambientales que tendrán lugar durante la fase de explotación y uso de éstas.

Como se ha visto en los anteriores apartados, el uso de mantas térmicas provoca un ahorro de energía térmica y energía eléctrica en este tipo de instalaciones, por lo que para evaluar el impacto ambiental es vital conocer la emisión de contaminantes de los generadores de energía de las instalaciones estudiadas.

En este caso, la energía térmica se genera mediante calderas de gas natural y la electricidad es suministrada a partir de la red general de distribución, por lo que se asume el mix de generación del sistema eléctrico español de cara al cálculo de emisiones.

La generación de energía a partir de fuentes convencionales como las anteriores, emiten contaminantes en forma de gas, el más relevante de ellos es el CO₂.

A partir de un informe elaborado por REE [11], se obtiene la emisión media de CO₂/kWh generado en el sistema eléctrico español durante el año 2018. Por otro lado, a partir de un análisis realizado por la Fundación f2e [12], se obtiene la emisión de CO₂/kWh para una caldera cuyo combustible es Gas Natural.

Con esta información, junto a los ahorros energéticos calculados en el apartado 5, permite el cálculo del impacto ambiental que tendría el uso de las cubiertas térmicas en los dos casos analizados. El resumen es el que se muestra a continuación:

| YUREMA REQUENA | | | |
|--------------------|--------------|-------------------------|-----------------------------|
| Recurso Energético | Ahorro (kWh) | kg CO ₂ /kWh | kg CO ₂ evitados |
| GAS NATURAL | 84.560,8 | 0,204 | 17.250,4 |
| ELECTRICIDAD | 117.196,3 | 0,246 | 28.830,3 |

Tabla 69 - Emisiones de CO₂ evitadas anualmente en la piscina Yurema Requena

| PISCINAS PROVINCIALES | | | |
|-----------------------|--------------|-------------------------|-----------------------------|
| Recurso Energético | Ahorro (kWh) | kg CO ₂ /kWh | kg CO ₂ evitados |
| GAS NATURAL | 1.076.966,8 | 0,204 | 219.701,2 |
| ELECTRICIDAD | 1.975.350,7 | 0,246 | 485.936,3 |

Tabla 70 - Emisiones de CO₂ evitadas anualmente en las piscinas provinciales

Asimismo, no hay que dejar de lado la otra medida propuesta, el vaciado durante el cierre estival, que tiene como consecuencia un ahorro a nivel eléctrico, y un consumo adicional de energía térmica y agua. Esto se refleja a continuación:

| CIERRE ESTIVAL (VACIADO PISCINA YUREMA REQUENA) | | | |
|---|---------------|-------------------------|--------------------------------|
| Recurso energético | Ahorro (kWh) | kg CO ₂ /kWh | kg CO ₂ evitados |
| ELECTRICIDAD | 41.045,1 | 0,246 | 10.097,1 |
| Recurso energético | Consumo (kWh) | kg CO ₂ /kWh | kg CO ₂ adicionales |
| GAS NATURAL | -7.196,1 | 0,204 | -1.468,0 |

Tabla 71 - Impacto ambiental anual del vaciado de los vasos

Esto representa que anualmente se evitaría la emisión de 8.629,1 kg de CO₂, y tal como se ha calculado en el punto 5.4, un consumo adicional de 618,8 m³ de agua de la red.

Presupuesto

A continuación, se va a desglosar detalladamente el presupuesto necesario para las mejoras. En primer lugar, para la Piscina Yurema Requena, y después, para las piscinas provinciales analizadas.

Piscina Yurema Requena

En la piscina de Vila-real será necesario dividir la superficie de las cubiertas isotérmicas en 3 cubiertas diferentes, esto se debe al máximo ancho que admiten los enrolladores, que es de 6,5 metros.

Es importante que la superficie de la cubierta sea ligeramente superior a la superficie de lámina de la piscina. Asimismo, la parte delantera de la cubierta incorpora un flotador para facilitar su movimiento por el agua. En cambio, la parte trasera incorpora una cinta para su conexión con el enrollador.

El detalle presupuestario de los materiales y servicios se muestra a continuación:

| CU001 | m² | Cubierta térmica | | |
|---|--|------------------|-----------------|----------------|
| Espuma de Polietileno, reforzado por un tejido adherido y recubierto por un film de PE. Admite bien el doblado y se enrolla perfectamente. Resistencia a la tracción = 200 N/cm². Peso 470 gr/m². Espesor 5mm. | | | | |
| Ud. | Descomposición | Rend. | Precio unitario | Precio partida |
| m² | Espuma de Polietileno, reforzado por un tejido adherido y recubierto por un film de PE, espesor 5 mm | 406,25 | 21,10 | 8.571,54 |
| % | Medios auxiliares | 2,00 | 8.571,54 | 171,43 |
| % | Costes indirectos | 3,00 | 8.742,97 | 262,29 |
| Total: | | | | 9.005,26 |

Tabla 72 - Presupuesto de las cubiertas de espuma de PE

| CU002 | Ud. | Enrollador | | |
|---|--|------------|-----------------|----------------|
| Enrollador de gran capacidad y de fácil maniobra. Tornillería, ejes y ruedas giratorias con freno de acero inox. Con una estructura de perfilera de aluminio anodizado 120x120x3 mm lacado en blanco. Carga máxima 300 m² de cobertor utilizando cilindro de enrollado de Ø165 mm. Accionamiento motorizado con mando a distancia, con motor tubular de 24 V y finales graduables de recorrido. | | | | |
| Ud. | Descomposición | Rend. | Precio unitario | Precio partida |
| Ud. | Enrollador automático MON 12 - 6,5m/Ø165 | 3,00 | 2.765,29 | 8.295,87 |
| % | Medios auxiliares | 2,00 | 8.295,87 | 165,92 |
| % | Costes indirectos | 3,00 | 8.461,79 | 253,85 |
| Total: | | | | 8.715,64 |

Tabla 73 - Presupuesto de los enrolladores

| CU003 | ml | Flotador | | | |
|---|-------------------|----------|-------|-----------------|----------------|
| Flotador rígido. Acabado con orillo de tejido de Poliéster, con tubo de PVC rígido en el interior. Incluye bucle de cuerda de tiro para el guiado. | | | | | |
| Ud. | Descomposición | | Rend. | Precio unitario | Precio partida |
| ml | Flotador PVC | | 19,50 | 23,24 | 453,17 |
| % | Medios auxiliares | | 2,00 | 453,17 | 9,06 |
| % | Costes indirectos | | 3,00 | 462,23 | 13,87 |
| Total: | | | | | 476,10 |

Tabla 74 - Presupuesto de los flotadores

| CU004 | ml | Ribete-cinta | | | |
|---|-------------------|--------------|-------|-----------------|----------------|
| Ribete con cinta adaptable para enrollador. Con hebilla de regulación y fácil desconexión del enrollador. | | | | | |
| Ud. | Descomposición | | Rend. | Precio unitario | Precio partida |
| ml | Ribete-cinta | | 19,50 | 5,11 | 99,60 |
| % | Medios auxiliares | | 2,00 | 99,60 | 1,99 |
| % | Costes indirectos | | 3,00 | 101,59 | 3,05 |
| Total: | | | | | 104,64 |

Tabla 75 - Presupuesto de las cintas-ribetes

| | | | | |
|---|-----------------------|--------------------------|-----------------|----------------|
| CU005 | Ud. | Transporte e instalación | | |
| Transporte e instalación Mousse y Enrolladores. | | | | |
| Ud. | Descomposición | Rend. | Precio unitario | Precio partida |
| n° | Mousse y Enrolladores | 1,00 | 604,20 | 604,20 |
| % | Medios auxiliares | 2,00 | 604,20 | 12,08 |
| % | Costes indirectos | 3,00 | 616,28 | 18,49 |
| Total: | | | | 634,77 |

Tabla 76 - Presupuesto del transporte e instalación

Piscinas Provincia de Castellón

En las piscinas de la provincia se divide la superficie de las cubiertas isotérmicas en 30 cubiertas diferentes debido a que el máximo ancho que admiten los enrolladores es de 6,5 metros. Situación análoga a la explicada para la piscina de Vila-real.

Como se ha indicado en el apartado anterior, resulta importante que la superficie de la cubierta sea superior a la superficie de lámina de la piscina. Además, la parte delantera de la cubierta incorpora un flotador para ayuda a su movimiento por el agua. Por otro lado, la parte trasera incorpora una cinta para su conexión con el enrollador.

El detalle presupuestario de los materiales y servicios se encuentra a continuación:

| PP001 | m² | Cubierta térmica | | | |
|---|--|------------------|----------|-----------------|----------------|
| Espuma de Polietileno, reforzado por un tejido adherido y recubierto por un film de PE. Admite bien el doblado y se enrolla perfectamente. Resistencia a la tracción = 200 N/cm2. Peso 470 gr/m2. Espesor 5 mm. | | | | | |
| Ud. | Descomposición | | Rend. | Precio unitario | Precio partida |
| m² | Espuma de Polietileno, reforzado por un tejido adherido y recubierto por un film de PE, espesor 5 mm | | 5.233,00 | 21,10 | 110.411,98 |
| % | Medios auxiliares | | 2,00 | 110.411,98 | 2.208,24 |
| % | Costes indirectos | | 3,00 | 112.620,22 | 3.378,61 |
| Total: | | | | | 115.998,83 |

Tabla 77 - Presupuesto de las cubiertas de espuma de PE

| PP002 | Ud. | Enrollador | | | |
|--|--|------------|-------|-----------------|----------------|
| Enrollador de gran capacidad y de fácil maniobra. Tornillería, ejes y ruedas giratorias con freno de acero inox. Con una estructura de perfilera de aluminio anodizado 120x120x3 mm lacado en blanco. Carga máxima 300 m² de cobertor utilizando cilindro de enrolla de Ø165 mm. Accionamiento motorizado con mando a distancia, con motor tubular de 24 v. y finales graduables de recorrido. | | | | | |
| Ud. | Descomposición | | Rend. | Precio unitario | Precio partida |
| Ud. | Enrollador automático MON 12 - 6,5m/Ø165 | | 30,00 | 2.765,29 | 82.958,68 |
| % | Medios auxiliares | | 2,00 | 82.958,68 | 1.659,17 |
| % | Costes indirectos | | 3,00 | 84.617,85 | 2.538,54 |
| Total: | | | | | 87.156,39 |

Tabla 78 - Presupuesto de los enrolladores

| PP003 | ml | Flotador | | |
|--|-------------------|----------|-----------------|----------------|
| Flotador rígido. Acabado con orillo de tejido de Poliéster, con tubo de PVC rígido en el interior. Incluye bucle de PPerda de tiro para el guiado. | | | | |
| Ud. | Descomposición | Rend. | Precio unitario | Precio partida |
| ml | Flotador PVC | 184,00 | 23,24 | 4.276,10 |
| % | Medios auxiliares | 2,00 | 4.276,10 | 85,52 |
| % | Costes indirectos | 3,00 | 4.361,62 | 130,85 |
| Total: | | | | 4.492,47 |

Tabla 79 - Presupuesto de los flotadores

| PP004 | ml | Ribete-cinta | | | |
|--|-------------------|--------------|--------|-----------------|----------------|
| Ribete con cinta adaptable para enrollador. Con hebilla de regulación y fácil desconexión del enrollador | | | | | |
| Ud. | Descomposición | | Rend. | Precio unitario | Precio partida |
| ml | Ribete-cinta | | 184,00 | 5,11 | 939,77 |
| % | Medios auxiliares | | 2,00 | 939,77 | 18,80 |
| % | Costes indirectos | | 3,00 | 958,57 | 28,76 |
| Total: | | | | | 987,33 |

Tabla 80 - Presupuesto de las cintas-ribetes

| PP005 | Ud. | Transporte e instalación | | |
|--|-----------------------|--------------------------|-----------------|----------------|
| Transporte e instalación Mousse y Enrolladores | | | | |
| Ud. | Descomposición | Rend. | Precio unitario | Precio partida |
| n° | Mousse y Enrolladores | 12,00 | 604,20 | 7.250,41 |
| % | Medios auxiliares | 2,00 | 7.250,41 | 145,01 |
| % | Costes indirectos | 3,00 | 7.395,42 | 221,86 |
| Total: | | | | 7.617,28 |

Tabla 81 - Presupuestos de los transportes e instalaciones

Conclusiones

La realización de este trabajo ha permitido la comprensión del funcionamiento de las piscinas climatizadas, así como resaltar la importancia que tiene la realización de estudios energéticos en este tipo de instalaciones para poder aumentar la eficiencia energética.

Se ha constatado que este tipo de edificios son grandes consumidores de gas natural y energía eléctrica, esto conlleva un elevado gasto económico en energía. Por lo que resulta muy importante el estudio de posibles mejoras que permitan optimizar energéticamente el edificio, o planteen alternativas en la generación de energía térmica o eléctrica.

En la evaluación de alternativas se ha priorizado que la inversión fuera asequible a nivel económico y que permitiese incrementar la eficiencia en la demanda térmica y eléctrica, de ahí que la elección más idónea fuera la cubierta isotérmica, que permite cumplir con estas expectativas, y reducir en un 10% la demanda térmica (84.561 kWh) y en un 27% el consumo eléctrico (117.196 kWh).

Por el camino se han descartado opciones como la cogeneración, las calderas de biomasa o las instalaciones solares de autoconsumo, debido principalmente a que acarrearían elevadas inversiones y a la no idoneidad de la cubierta del edificio. En el caso de que el proyecto estudiado fuera la construcción de una nueva piscina o la sustitución de las dos calderas de gas natural existentes, con total seguridad se hubiera propuesto alguna de estas mejoras.

A continuación, ampliando el estudio a nivel provincial se pretende y consigue probar que la aplicación de esta medida a mayor escala permitiría en consecuencia, multiplicar los ahorros energéticos y económicos.

Analizando las inversiones se demuestra que ambas resultan muy interesantes, cuentan con un Payback inferior a los dos años e indicadores y coeficientes de rentabilidad, como el VAN o el TIR, muy elevados.

Es destacable que el Payback y la TIR mejoran en el estudio provincial, esto se debe a que cuanto más grande es la piscina, más elevadas son las pérdidas por evaporación y los consumos de los equipos deshumectación, bombeo, etc, por tanto, más efectiva es la aplicación de la cubierta isotérmica. En la provincia hay varias piscinas con un tamaño mayor que la de Vila-real. Asimismo, la piscina estudiada realiza un paro estival largo, lo que no permite maximizar el uso de la cubierta.

En cuanto al impacto ambiental, en el caso de aplicar ambas mejoras se conseguiría evitar la emisión anual de una gran cantidad de CO₂ a la atmósfera.

Para finalizar, se recomienda la instalación inmediata de este tipo de manta isotérmica en la Piscina Yurema Requena y la realización de una auditoría más detallada en el resto de piscina provinciales, que permita estudiar con mejor información la aplicación de la cubierta isotérmica, así como la evaluación de otras posibles medidas.

Agradecimientos

Me gustaría que estas próximas líneas sirvieran de agradecimiento a las personas e instituciones que han ayudado a desarrollar y concluir esta etapa formativa.

A la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, por darme la oportunidad de formarme y vivir en Barcelona, y permitir mi desarrollo y crecimiento personal a lo largo de estos años.

A Carme Pretel, por las facilidades mostradas, comprensión, ayuda y dedicación de su tiempo, como directora de este Trabajo Final.

A ella y al resto del profesorado, por su dedicación y enseñanza a lo largo de mi formación, que han sido de vital importancia para mi evolución hasta el día de hoy.

Al Servei d'Esports de Vila-Real, a Pedro, Jesús, José Ramón y Vicent, por las facilidades e inestimable colaboración para la consecución de información y datos necesarios para la realización de este Proyecto.

A Santiago, Pau, Mònica, Carmen, Anna, Guillermo, Miguel, Joan y el resto de mis compañeros del Máster de Ingeniería Industrial, por su ayuda en que esta meta haya sido más fácil de conseguir.

A mis padres, a mi hermano, al resto de mi familia y a mis amigos, que siempre me han apoyado en todas mis decisiones, aunque éstas no fueran fáciles.

Bibliografía

Referencias bibliográficas

- [1] Google Maps, Mapa de Vila-real (Comunidad Valenciana, España), consulta en: [\[https://www.google.com/maps/@40.2499454,0.4498763,8.75z\]](https://www.google.com/maps/@40.2499454,0.4498763,8.75z), septiembre 2019]
- [2] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, *Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios (Versión consolidada)*. Madrid: 2013, p. 42-75
- [3] INE, *Anuario Estadístico de España 2018 – Entorno físico y medio ambiente*. Madrid: 2018, [\[https://www.ine.es/prodyser/pubweb/anuario18/anu18_01entor.pdf\]](https://www.ine.es/prodyser/pubweb/anuario18/anu18_01entor.pdf), p. 9-12, septiembre 2019]
- [4] MaesWell, *Deshumectación y Eficiencia Energética en Piscinas Cubiertas*, disponible en: [\[https://app.maeswell.com/2018/08/deshumectacion-del-aire-piscinas-cubiertas/\]](https://app.maeswell.com/2018/08/deshumectacion-del-aire-piscinas-cubiertas/), septiembre 2019]
- [5] IDAE, *Guía Técnica del Agua Caliente Sanitaria Central*. Madrid: 2010, p. 70-73
- [6] REVE (Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico), *Energía Solar Fotovoltaica*, consulta en: [\[https://www.evwind.com/2013/09/10/energias-renovables-sunedison-financiara-la-central-de-energia-solar-mas-grande-de-latinoamerica-en-chile/\]](https://www.evwind.com/2013/09/10/energias-renovables-sunedison-financiara-la-central-de-energia-solar-mas-grande-de-latinoamerica-en-chile/), octubre 2019]
- [7] Ministerio de Fomento, *Código Técnico de la Edificación (CTE) Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE)*. Madrid: 2018, p. 57-70
- [8] Portal Independiente Geotermia, *Energía Geotérmica*, disponible en: [\[https://geotermiaonline.com/2014/02/todo-lo-que-hay-que-saber-sobre-geotermia-para-despejar-dudas/\]](https://geotermiaonline.com/2014/02/todo-lo-que-hay-que-saber-sobre-geotermia-para-despejar-dudas/), octubre 2019]
- [9] IASO GLOBAL, *Cubiertas Térmicas para Piscinas Climatizadas*, consulta en: [\[https://www.iasoglobal.com/es-ES/proyecto/cubierta-piscinas-del-polideportivo-torre-roj\]](https://www.iasoglobal.com/es-ES/proyecto/cubierta-piscinas-del-polideportivo-torre-roj), octubre 2019]
- [10] Energía Naranja, *Discriminación Horaria Tarifa Electricidad 3.0 A*, disponible en: [\[https://energianaranja.es/discriminacion-horaria/\]](https://energianaranja.es/discriminacion-horaria/), octubre 2019]

- [11] REE (Red Eléctrica España), *Informe Sistema Eléctrico Español 2018*, consulta en: [\[https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2018/inf_sis_elec_ree_2018.pdf\]](https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2018/inf_sis_elec_ree_2018.pdf), octubre 2019]
- [12] f2e (Fundación para la Eficiencia Energética y el Medio Ambiente), *Emisiones CO₂ Gas Natural*, consulta en: [\[http://www.f2e.es/es/gas-natural-butano-electricidad-propano-y-gasoleo-que-energia-emite-mas-co2\]](http://www.f2e.es/es/gas-natural-butano-electricidad-propano-y-gasoleo-que-energia-emite-mas-co2), octubre 2019]
- [13] Portal Climas Monterrey, Calor de Vaporización del agua, disponible en: [\[https://www.climasmonterrey.com/cuales-son-las-propiedades-del-vapor-de-agua-humedad\]](https://www.climasmonterrey.com/cuales-son-las-propiedades-del-vapor-de-agua-humedad), septiembre 2019]

Bibliografía complementaria

- Universidad de Cantabria, *Psicrometría en la Refrigeración*, consulta en: [\[https://personales.unican.es/renedoc/Trasporencias%20WEB/Trasp%20Tec%20Frig/021%20Psicro.pdf\]](https://personales.unican.es/renedoc/Trasporencias%20WEB/Trasp%20Tec%20Frig/021%20Psicro.pdf), septiembre 2019]
- Universidad del País Vasco, *Aislamiento Térmico en la Construcción*, consulta en: [\[http://www.ehu.eus/mmtde/materiala/aislamtoedificios/isover/Termica.pdf\]](http://www.ehu.eus/mmtde/materiala/aislamtoedificios/isover/Termica.pdf), septiembre 2019]
- CIATESA, Necesidades de climatización en piscinas cubiertas, disponible en: <http://www.marioloureiro.net/tecnic/eficienciaEnerg/19-B.EvaMALbarracin-CIATESA.pdf>, octubre 2019]
- ICCL (Instituto de la Construcción de Castilla y León) e Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Conductividad y Transmitancia Térmica de los materiales, disponible en: [\[http://cte-web.iccl.es/materiales.php\]](http://cte-web.iccl.es/materiales.php), octubre 2019]
- ISOPAN, Transmitancia Térmica paneles prefabricados aislantes, consulta en: [\[https://www.isopan.es/files/downloads/isopan_-_isoray_rev_10_es.pdf\]](https://www.isopan.es/files/downloads/isopan_-_isoray_rev_10_es.pdf), octubre 2019]
- Comisión Europea, Resumen del Acuerdo de París, información disponible en: [\[https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es\]](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es), octubre 2019]

- L. Fanega Macías, *Las grandes concesiones administrativas de instalaciones deportivas en Cataluña: planificación, control, seguimiento e intervención*, consulta en: [https://www.scipedia.com/public/Fanega_Macias_2018a, octubre 2019]
- FENERCOM (Fundación de la Energía de la Com. de Madrid, *Guía de la Cogeneración*, disponible en : [<http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015249.pdf>, octubre 2019]
- Excmo. Ayto. de Castellón de la Plana, Información piscinas cubiertas Castellón de la Plana, consulta en: [<http://www.castello.es/archivos/663/ppt-mto-piscinas.pdf>, octubre 2019]
- CYPE Ingenieros, S. A., *Generador de precios de la Construcción*, disponible en: [<http://www.generadordeprecios.info/>, noviembre 2019]

Anexo

Anexo de cálculos

A continuación, se va a mostrar el detalle de los resultados obtenidos en los cálculos realizados en la memoria.

- Demanda térmica:

➤ Pérdidas de calor por evaporación:

A partir de la ecuación (2) y de las condiciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3), se obtiene el detalle mensual de estas pérdidas:

| VASO GRANDE | Q _E (kWh) | | |
|--------------|----------------------|-----------------|------------------|
| MES | En uso | En reposo | Total |
| ENERO | 17.281,4 | 7.642,3 | 24.923,6 |
| FEBRERO | 16.685,5 | 6.368,0 | 23.053,5 |
| MARZO | 17.877,3 | 7.346,3 | 25.223,6 |
| ABRIL | 16.089,6 | 7.710,8 | 23.800,4 |
| MAYO | 16.089,6 | 8.234,2 | 24.323,8 |
| JUNIO | 12.220,7 | 7.118,9 | 19.339,6 |
| JULIO | 13.063,5 | 7.050,3 | 20.113,8 |
| AGOSTO | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| SEPTIEMBRE | 2.528,4 | 1.364,6 | 3.893,0 |
| OCTUBRE | 17.281,4 | 7.642,3 | 24.923,6 |
| NOVIEMBRE | 17.281,4 | 7.118,9 | 24.400,2 |
| DICIEMBRE | 14.301,8 | 9.122,1 | 23.423,9 |
| TOTAL | 160.700,5 | 76.718,5 | 237.419,0 |

| VASO PEQUEÑO | Q _E (kWh) | | |
|--------------|----------------------|------------------|------------------|
| MES | En uso | En reposo | Total |
| ENERO | 3.966,28 | 1.834,14 | 5.800,42 |
| FEBRERO | 3.829,51 | 1.528,33 | 5.357,84 |
| MARZO | 4.103,05 | 1.763,11 | 5.866,16 |
| ABRIL | 3.692,74 | 1.850,59 | 5.543,33 |
| MAYO | 3.692,74 | 1.976,21 | 5.668,95 |
| JUNIO | 3.966,28 | 1.708,52 | 5.674,81 |
| JULIO | 4.239,82 | 1.692,07 | 5.931,89 |
| AGOSTO | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | 820,61 | 327,50 | 1.148,11 |
| OCTUBRE | 3.966,28 | 1.834,14 | 5.800,42 |
| NOVIEMBRE | 3.966,28 | 1.708,52 | 5.674,81 |
| DICIEMBRE | 3.282,44 | 2.189,30 | 5.471,74 |
| TOTAL | 39.526,05 | 18.412,44 | 57.938,48 |

Tabla 82 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por evaporación

➤ Pérdidas de calor por renovación del agua de los vasos:

Con la ecuación (3) y las condiciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3), se calcula la evolución mensual de estas pérdidas:

| VASO GRANDE | | Q _{REN} (kWh) | |
|-------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|
| MES | T _{RED} (°C) | Q _{REN} /día (kWh) | Q _{REN} (kWh) |
| ENERO | 10,00 | 588,77 | 17.074,29 |
| FEBRERO | 11,00 | 556,06 | 15.569,66 |
| MARZO | 12,00 | 523,35 | 15.700,50 |
| ABRIL | 13,00 | 490,64 | 13.247,30 |
| MAYO | 15,00 | 425,22 | 11.480,99 |
| JUNIO | 18,00 | 327,09 | 9.485,72 |
| JULIO | 19,00 | 294,38 | 9.125,92 |
| AGOSTO | 20,00 | 261,68 | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | 18,00 | 327,09 | 1.962,56 |
| OCTUBRE | 16,00 | 392,51 | 11.382,86 |
| NOVIEMBRE | 12,00 | 523,35 | 15.177,15 |
| DICIEMBRE | 11,00 | 556,06 | 13.345,43 |
| TOTAL | | | 133.552,38 |

| VASO PEQUEÑO | | Q _{REN} (kWh) | |
|--------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|
| MES | T _{RED} (°C) | Q _{REN} /día (kWh) | Q _{REN} (kWh) |
| ENERO | 10,00 | 58,88 | 1.707,43 |
| FEBRERO | 11,00 | 55,61 | 1.556,97 |
| MARZO | 12,00 | 52,34 | 1.570,05 |
| ABRIL | 13,00 | 49,06 | 1.324,73 |
| MAYO | 15,00 | 42,52 | 1.148,10 |
| JUNIO | 18,00 | 32,71 | 948,57 |
| JULIO | 19,00 | 29,44 | 912,59 |
| AGOSTO | 20,00 | 26,17 | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | 18,00 | 32,71 | 196,26 |
| OCTUBRE | 16,00 | 39,25 | 1.138,29 |
| NOVIEMBRE | 12,00 | 52,34 | 1.517,72 |
| DICIEMBRE | 11,00 | 55,61 | 1.334,54 |
| TOTAL | | | 13.355,24 |

Tabla 83 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por renovación del agua de los vasos

En la evolución mensual se comprueba la gran variación que hay entre los meses más fríos y los más cálidos, la necesidad energética para calentar el agua de los vasos llega ser superior al 100%.

➤ Pérdidas de calor por radiación:

A partir de la ecuación (4) y de las condiciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3), se obtiene el detalle mensual de estas pérdidas:

| VASO GRANDE | Q_{RAD} (kWh) |
|--------------|------------------|
| MES | Total |
| ENERO | 1.359,33 |
| FEBRERO | 1.227,78 |
| MARZO | 1.359,33 |
| ABRIL | 1.315,48 |
| MAYO | 1.359,33 |
| JUNIO | 1.315,48 |
| JULIO | 1.359,33 |
| AGOSTO | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | 263,10 |
| OCTUBRE | 1.359,33 |
| NOVIEMBRE | 1.315,48 |
| DICIEMBRE | 1.359,33 |
| TOTAL | 13.593,28 |

| VASO PEQUEÑO | Q_{RAD} (kWh) |
|--------------|-----------------|
| MES | Total |
| ENERO | 326,24 |
| FEBRERO | 294,67 |
| MARZO | 326,24 |
| ABRIL | 315,71 |
| MAYO | 326,24 |
| JUNIO | 315,71 |
| JULIO | 326,24 |
| AGOSTO | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | 63,14 |
| OCTUBRE | 326,24 |
| NOVIEMBRE | 315,71 |
| DICIEMBRE | 326,24 |
| TOTAL | 3.262,39 |

Tabla 84 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por radiación

➤ Pérdidas de calor por convección:

En este caso, debido a que la temperatura del aire del recinto es superior a la del agua de los vasos, se da la situación de que se tiene una ganancia de calor, en lugar de una pérdida.

Con la ecuación (5) y las condiciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3), se calcula la evolución mensual de estas ganancias:

| VASO GRANDE | Q_{CONV} (kWh) |
|--------------|-------------------------|
| MES | Total |
| ENERO | -365,93 |
| FEBRERO | -330,52 |
| MARZO | -365,93 |
| ABRIL | -354,13 |
| MAYO | -365,93 |
| JUNIO | -354,13 |
| JULIO | -365,93 |
| AGOSTO | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | -70,83 |
| OCTUBRE | -365,93 |
| NOVIEMBRE | -354,13 |
| DICIEMBRE | -365,93 |
| TOTAL | -3.659,30 |

| VASO PEQUEÑO | Q_{CONV} (kWh) |
|--------------|-------------------------|
| MES | Total |
| ENERO | -87,82 |
| FEBRERO | -79,32 |
| MARZO | -87,82 |
| ABRIL | -84,99 |
| MAYO | -87,82 |
| JUNIO | -84,99 |
| JULIO | -87,82 |
| AGOSTO | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | -17,00 |
| OCTUBRE | -87,82 |
| NOVIEMBRE | -84,99 |
| DICIEMBRE | -87,82 |
| TOTAL | -878,23 |

Tabla 85 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por convección

➤ Pérdidas de calor por conducción:

Para su cálculo es necesario conocer la temperatura exterior al cerramiento del vaso, en este caso, la temperatura del sótano. Se ha recibido por parte del equipo de mantenimiento de la instalación y se muestra en la próxima tabla.

A partir de la ecuación (6), de las condiciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3) y de la temperatura del sótano, se obtiene el detalle mensual de estas pérdidas de calor, así como de las pérdidas de calor por unidad de tiempo:

| VASO GRANDE | | Q _{COND} (kWh) | |
|-------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| MES | T _{SÓTANO} (°C) | Q _{COND} unit (kW) | Q _{COND} (kWh) |
| ENERO | 20,00 | 5,37 | 3.995,28 |
| FEBRERO | 21,00 | 4,70 | 3.157,56 |
| MARZO | 22,00 | 4,03 | 2.996,46 |
| ABRIL | 23,00 | 3,36 | 2.416,50 |
| MAYO | 24,00 | 2,69 | 1.997,64 |
| JUNIO | 26,00 | 1,34 | 966,60 |
| JULIO | 27,00 | 0,67 | 499,41 |
| AGOSTO | 27,00 | 0,67 | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | 26,00 | 1,34 | 193,32 |
| OCTUBRE | 23,00 | 3,36 | 2.497,05 |
| NOVIEMBRE | 21,00 | 4,70 | 3.383,10 |
| DICIEMBRE | 20,00 | 5,37 | 3.995,28 |
| TOTAL | | | 26.098,20 |

| VASO PEQUEÑO | | Q _{COND} (kWh) | |
|--------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| MES | T _{SÓTANO} (°C) | Q _{COND} unit (kW) | Q _{COND} (kWh) |
| ENERO | 20,00 | 1,23 | 917,35 |
| FEBRERO | 21,00 | 1,08 | 725,00 |
| MARZO | 22,00 | 0,92 | 688,01 |
| ABRIL | 23,00 | 0,77 | 554,85 |
| MAYO | 24,00 | 0,62 | 458,68 |
| JUNIO | 26,00 | 0,31 | 221,94 |
| JULIO | 27,00 | 0,15 | 114,67 |
| AGOSTO | 27,00 | 0,15 | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | 26,00 | 0,31 | 44,39 |
| OCTUBRE | 23,00 | 0,77 | 573,35 |
| NOVIEMBRE | 21,00 | 1,08 | 776,79 |
| DICIEMBRE | 20,00 | 1,23 | 917,35 |
| TOTAL | | | 5.992,38 |

Tabla 86 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por conducción a través de los vasos

Con la información que se acaba de desglosar, se conoce la proporción de demanda correspondiente al vaso grande y al vaso pequeño:

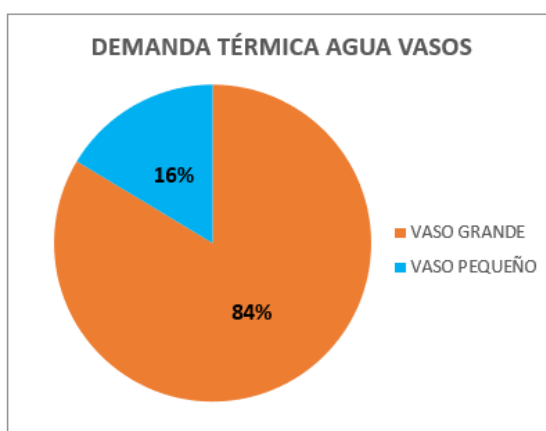


Ilustración 18 - Proporción de las pérdidas de calor en los vasos

➤ Pérdidas de calor por renovación del aire del recinto:

Con la ecuación (7) y las condiciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3), se calcula la evolución mensual de estas pérdidas de calor y de las pérdidas de calor por unidad de tiempo:

| RECINTO | Q_{REN_AIRE} (kWh) | | |
|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| MES | T_{EXT} (°C) | Q_{REN_AIRE} unit | Q_{REN_AIRE} (kWh) |
| ENERO | 12,9 | 24,42 | 16.994,15 |
| FEBRERO | 13,5 | 23,56 | 15.832,42 |
| MARZO | 13,6 | 23,42 | 16.860,50 |
| ABRIL | 16,5 | 19,28 | 12.491,16 |
| MAYO | 18,8 | 15,99 | 10.363,04 |
| JUNIO | 23,4 | 9,42 | 6.559,14 |
| JULIO | 26,1 | 5,57 | 4.143,16 |
| AGOSTO | 26,0 | 5,71 | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | 24,2 | 8,28 | 1.192,57 |
| OCTUBRE | 20,4 | 13,71 | 9.540,57 |
| NOVIEMBRE | 14,7 | 21,85 | 15.205,29 |
| DICIEMBRE | 12,7 | 24,70 | 14.228,61 |
| TOTAL | | | 123.410,60 |

Tabla 87 - Detalle mensual de las pérdidas de calor por renovación del aire del recinto

➤ Pérdidas de calor a través de los cerramientos del recinto:

Aplicando la ecuación (8) a las diferentes fachadas del edificio y teniendo en cuenta la temperatura exterior, además de, las consideraciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3), se obtiene el detalle mensual de estas pérdidas:

| PÉRDIDAS CERRAMIENTOS RECINTO (kWh) | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| MES | Q_{F_ESTE} | Q_{F_OESTE} | Q_{F_SUR} | Q_{F_NORTE} | $Q_{CUBIERTA}$ | Q_{CERR} |
| ENERO | 1.485,53 | 1.485,53 | 2.991,92 | 1.258,64 | 2.964,96 | 10.186,58 |
| FEBRERO | 1.294,69 | 1.294,69 | 2.607,56 | 1.096,95 | 2.584,06 | 8.877,95 |
| MARZO | 1.424,72 | 1.424,72 | 2.869,44 | 1.207,12 | 2.843,59 | 9.769,59 |
| ABRIL | 1.134,96 | 1.134,96 | 2.285,84 | 961,61 | 2.265,25 | 7.782,62 |
| MAYO | 972,98 | 972,98 | 1.959,62 | 824,37 | 1.941,96 | 6.671,91 |
| JUNIO | 554,87 | 554,87 | 1.117,52 | 470,12 | 1.107,46 | 3.804,84 |
| JULIO | 338,81 | 338,81 | 682,37 | 287,06 | 676,22 | 2.323,26 |
| AGOSTO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | 97,52 | 97,52 | 196,41 | 82,63 | 194,64 | 668,73 |
| OCTUBRE | 833,98 | 833,98 | 1.679,67 | 706,61 | 1.664,54 | 5.718,78 |
| NOVIEMBRE | 1.286,28 | 1.286,28 | 2.590,62 | 1.089,83 | 2.567,28 | 8.820,30 |
| DICIEMBRE | 1.502,91 | 1.502,91 | 3.026,91 | 1.273,36 | 2.999,64 | 10.305,72 |
| TOTAL | 10.927,24 | 10.927,24 | 22.007,88 | 9.258,31 | 21.809,61 | 74.930,28 |

Tabla 88 - Detalle mensual de las pérdidas de calor a través de los cerramientos

La evolución mensual está muy influenciada por las características constructivas de la fachada, así como por la temperatura exterior.

A partir de los datos anteriores, se pueden mostrar las gráficas que muestran de una forma intuitiva la relevancia de los diferentes tipos de pérdidas debidas al acondicionamiento del aire del recinto:

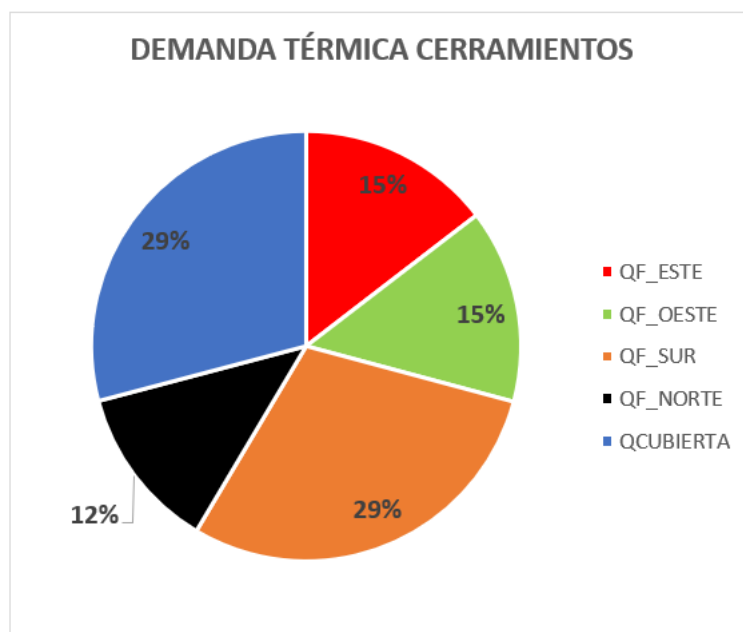


Ilustración 19 - Proporción de las pérdidas de calor a través de cada cerramiento

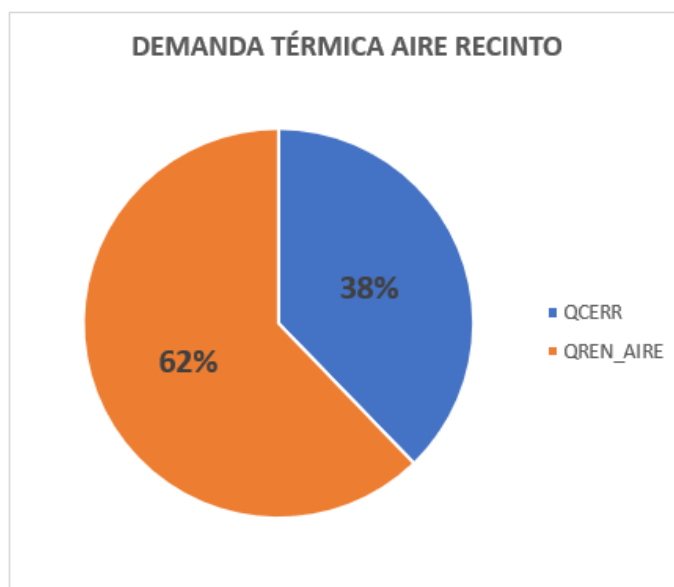


Ilustración 20 - Proporción de las pérdidas de calor acondicionamiento aire

➤ Demanda térmica debida al consumo de ACS:

Con la ecuación Demanda térmica debida al consumo de ACS:(9), la evolución de usuarios y de la temperatura del agua de red en los diferentes meses, junto con las condiciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3), se calcula las necesidades térmicas mensuales debidas al consumo de ACS:

| Q_{ACS} (kWh) | | | | |
|------------------------------|----------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| MES | n | T_{RED} (°C) | Q_{ACS}/día (kWh) | Q_{ACS} (kWh) |
| ENERO | 585 | 10,0 | 510,27 | 14.797,72 |
| FEBRERO | 715 | 11,0 | 611,19 | 17.113,20 |
| MARZO | 585 | 12,0 | 489,86 | 14.695,67 |
| ABRIL | 585 | 13,0 | 479,65 | 12.950,56 |
| MAYO | 455 | 15,0 | 357,19 | 9.644,03 |
| JUNIO | 390 | 18,0 | 285,75 | 8.286,72 |
| JULIO | 325 | 19,0 | 232,45 | 7.206,09 |
| AGOSTO | 0 | 20,0 | 0,00 | 0,00 |
| SEPTIEMBRE | 390 | 18,0 | 285,75 | 1.714,49 |
| OCTUBRE | 585 | 16,0 | 449,03 | 13.021,99 |
| NOVIEMBRE | 650 | 12,0 | 544,28 | 15.784,24 |
| DICIEMBRE | 650 | 11,0 | 555,62 | 13.334,96 |
| TOTAL | | | | 128.549,68 |

Tabla 89 - Detalle mensual demanda térmica por el consumo de ACS

- Consumo eléctrico:

- Consumo de las deshumectadoras:

A partir de la ecuación (10), las condiciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3) y lo indicado en el apartado 4.2.1, se obtiene la evolución mensual del consumo mensual de las deshumectadoras:

| MES | E _{DESHUMECTADORAS} (kWh) | | |
|--------------|------------------------------------|------------------|-------------------|
| | En uso | En reposo | Total |
| ENERO | 11.051,49 | 5.466,69 | 16.518,17 |
| FEBRERO | 10.670,40 | 4.555,20 | 15.225,60 |
| MARZO | 11.432,57 | 5.254,97 | 16.687,54 |
| ABRIL | 10.289,31 | 5.515,71 | 15.805,03 |
| MAYO | 10.289,31 | 5.890,11 | 16.179,43 |
| JUNIO | 9.209,57 | 5.092,29 | 14.301,86 |
| JULIO | 9.844,71 | 5.043,26 | 14.887,97 |
| AGOSTO | 0,00 | 11.606,40 | 11.606,40 |
| SEPTIEMBRE | 1.905,43 | 9.961,71 | 11.867,14 |
| OCTUBRE | 11.051,49 | 5.466,69 | 16.518,17 |
| NOVIEMBRE | 11.051,49 | 5.092,29 | 16.143,77 |
| DICIEMBRE | 9.146,06 | 6.525,26 | 15.671,31 |
| TOTAL | 105.941,83 | 75.470,57 | 181.412,40 |

Tabla 90 - Evolución mensual del consumo eléctrico de las deshumectadoras

Destaca la diferencia de consumo entre los meses de uso habitual y los meses de paro estival, también es reseñable el consumo eléctrico mientras los vasos se encuentran en reposo.

- Consumo de los equipos de bombeo:

Con la ecuación (10), las consideraciones y horarios de funcionamiento durante el año (Tabla 2 y Tabla 3) y lo señalado en el punto 4.2.2, se calcula el detalle mensual del consumo mensual de los equipos de bombeo:

| MES | E _{BOMBAS} (kWh) | | |
|--------------|---------------------------|------------------|-------------------|
| | En uso | En reposo | Total |
| ENERO | 8.503,23 | 4.453,60 | 12.956,83 |
| FEBRERO | 8.210,01 | 3.711,03 | 11.921,04 |
| MARZO | 8.796,44 | 4.281,12 | 13.077,56 |
| ABRIL | 7.916,80 | 4.493,54 | 12.410,34 |
| MAYO | 7.916,80 | 4.798,56 | 12.715,35 |
| JUNIO | 8.503,23 | 4.148,58 | 12.651,81 |
| JULIO | 9.089,66 | 4.108,64 | 13.198,30 |
| AGOSTO | 0,00 | 9.455,50 | 9.455,50 |
| SEPTIEMBRE | 1.759,29 | 8.115,60 | 9.874,89 |
| OCTUBRE | 8.503,23 | 4.453,60 | 12.956,83 |
| NOVIEMBRE | 8.503,23 | 4.148,58 | 12.651,81 |
| DICIEMBRE | 7.037,15 | 5.315,99 | 12.353,15 |
| TOTAL | 84.739,07 | 61.484,33 | 146.223,40 |

Tabla 91 - Evolución mensual del consumo eléctrico de los equipos de bombeo

Hay una importante variación en el consumo entre los meses de utilización y los de cierre veraniego. Asimismo, es destacable el consumo eléctrico mientras los vasos se encuentran en reposo.

➤ Consumo de los equipos de ventilación:

A partir de la ecuación (10), las condiciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3) y lo indicado en el apartado 4.2.3, se obtiene la evolución mensual del consumo mensual de los equipos de ventilación:

| MES | E _{VENTILACIÓN} (kWh) | | |
|--------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| | En uso | En reposo | Total |
| ENERO | 2.597,57 | 1.541,89 | 4.139,46 |
| FEBRERO | 2.508,00 | 1.284,80 | 3.792,80 |
| MARZO | 2.687,14 | 1.482,17 | 4.169,31 |
| ABRIL | 2.418,43 | 1.555,71 | 3.974,14 |
| MAYO | 2.418,43 | 1.661,31 | 4.079,74 |
| JUNIO | 2.597,57 | 1.436,29 | 4.033,86 |
| JULIO | 2.776,71 | 1.422,46 | 4.199,17 |
| AGOSTO | 0,00 | 3.273,60 | 3.273,60 |
| SEPTIEMBRE | 537,43 | 2.809,71 | 3.347,14 |
| OCTUBRE | 2.597,57 | 1.541,89 | 4.139,46 |
| NOVIEMBRE | 2.597,57 | 1.436,29 | 4.033,86 |
| DICIEMBRE | 2.149,71 | 1.840,46 | 3.990,17 |
| TOTAL | 25.886,14 | 21.286,57 | 47.172,71 |

Tabla 92 - Evolución mensual consumo eléctrico de los equipos de ventilación

➤ Consumo de los equipos de iluminación:

Con la ecuación (10), las condiciones y horarios de funcionamiento durante el año (Tabla 2 y Tabla 3) y lo señalado en el punto 4.2.4, se calcula el detalle mensual del consumo mensual de los equipos de iluminación:

| MES | E _{ILUMINACIÓN} (kWh) | |
|--------------|--------------------------------|------------------|
| | HORAS USO | Total |
| ENERO | 8,00 | 3.815,63 |
| FEBRERO | 8,00 | 3.446,37 |
| MARZO | 7,00 | 3.338,68 |
| ABRIL | 5,50 | 2.538,62 |
| MAYO | 4,00 | 1.907,81 |
| JUNIO | 2,50 | 1.153,92 |
| JULIO | 2,50 | 1.192,38 |
| AGOSTO | 4,00 | 476,95 |
| SEPTIEMBRE | 5,00 | 576,96 |
| OCTUBRE | 6,50 | 3.100,20 |
| NOVIEMBRE | 8,00 | 3.692,54 |
| DICIEMBRE | 8,00 | 3.815,63 |
| TOTAL | | 29.055,71 |

Tabla 93 - Evolución mensual consumo eléctrico de los equipos de iluminación

Mientras la instalación está operativa, el consumo de los equipos de iluminación tiene lugar durante el horario de uso, cuyas horas abarcan el horario de oficinas. En cambio, el consumo durante el cierre estival es el realizado por la iluminación de oficinas y espacios ajenos al recinto de los vasos.

➤ Consumo de otros equipos eléctricos:

A partir de la ecuación (10), las condiciones y horarios de funcionamiento a lo largo del año (Tabla 2 y Tabla 3) y lo indicado en el apartado 4.2.5, se obtiene la evolución mensual del consumo mensual de estos equipos eléctricos:

| MES | E _{OTROS} (kWh) | | |
|--------------|--------------------------|----------------------|------------------|
| | E _{OTROS 1} | E _{OTROS 2} | Total |
| ENERO | 998,20 | 1.508,00 | 2.506,20 |
| FEBRERO | 901,60 | 1.456,00 | 2.357,60 |
| MARZO | 998,20 | 1.560,00 | 2.558,20 |
| ABRIL | 966,00 | 1.404,00 | 2.370,00 |
| MAYO | 998,20 | 1.404,00 | 2.402,20 |
| JUNIO | 966,00 | 1.508,00 | 2.474,00 |
| JULIO | 998,20 | 1.612,00 | 2.610,20 |
| AGOSTO | 998,20 | 0,00 | 998,20 |
| SEPTIEMBRE | 966,00 | 312,00 | 1.278,00 |
| OCTUBRE | 998,20 | 1.508,00 | 2.506,20 |
| NOVIEMBRE | 966,00 | 1.508,00 | 2.474,00 |
| DICIEMBRE | 998,20 | 1.248,00 | 2.246,20 |
| TOTAL | 11.753,00 | 15.028,00 | 26.781,00 |

Tabla 94 - Evolución mensual consumo eléctrico del resto de equipos

Anexo de tablas

A continuación, se muestran tablas de datos empleadas en la realización de los cálculos:

| Tª (°C) | Humedad absoluta (kg _{AGUA} /kg _{AIRE}) |
|---------|---|
| 24,0 | 0,019 |
| 25,0 | 0,020 |
| 26,0 | 0,021 |
| 27,0 | 0,023 |
| 28,0 | 0,024 |
| 29,0 | 0,026 |
| 30,0 | 0,027 |

Tabla 95 - Humedad absoluta en aire saturado en función de la temperatura

| Temp. de Saturació °C | Presión de Vapor (Absoluta) | | Volumen Especifico m³/kg | Peso del Vapor | | | Entalpia kcal/kg | | |
|--------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------------|-------------------|------------------|-------------|------------------|---------|--------|
| | | | | Densidad kg/m³ | Humedad Absoluta | | | | |
| | kPa | psia | | | g/m³ | granos/pie³ | Sensible | Latente | Total |
| 0 | 0.61 | 0.0885 | 206.32 | 0.004847 | 4.84 | 2.11 | 0 | 597.66 | 597.66 |
| 1 | 0.65 | 0.0945 | 194.10 | 0.005152 | 5.15 | 2.25 | 1 | 596.87 | 597.87 |
| 2 | 0.7 | 0.1023 | 179.58 | 0.005569 | 5.57 | 2.43 | 2 | 596.28 | 598.28 |
| 3 | 0.76 | 0.1098 | 168.18 | 0.005946 | 5.95 | 2.60 | 3 | 595.68 | 298.68 |
| 4 | 0.81 | 0.1179 | 157.40 | 0.006353 | 6.35 | 2.77 | 4 | 595.09 | 599.09 |
| 5 | 0.87 | 0.1265 | 147.14 | 0.006796 | 6.79 | 2.97 | 5 | 594.53 | 599.53 |
| 6 | 0.93 | 0.1356 | 137.74 | 0.007260 | 7.26 | 3.18 | 6 | 593.93 | 599.93 |
| 7 | 1.00 | 0.1452 | 129.04 | 0.007750 | 7.75 | 3.38 | 7 | 593.37 | 600.37 |
| 8 | 1.07 | 0.1556 | 120.95 | 0.008268 | 8.27 | 3.61 | 8 | 592.79 | 600.79 |
| 9 | 1.15 | 0.1664 | 113.39 | 0.008819 | 8.82 | 3.85 | 9 | 592.25 | 601.25 |
| 10 | 1.23 | 0.1780 | 106.37 | 0.009401 | 9.40 | 4.10 | 10 | 292.03 | 602.03 |
| 11 | 1.31 | 0.1903 | 99.90 | 0.01001 | 10.01 | 4.37 | 11 | 591.10 | 602.10 |
| 12 | 1.40 | 0.2033 | 93.82 | 0.01066 | 10.66 | 4.66 | 12 | 590.56 | 602.56 |
| 13 | 1.50 | 0.2187 | 88.13 | 0.01135 | 11.35 | 4.96 | 13 | 589.98 | 602.98 |
| 14 | 1.60 | 0.2317 | 82.85 | 0.01207 | 12.07 | 5.27 | 14 | 589.41 | 603.41 |
| 15 | 1.70 | 0.2472 | 77.97 | 0.01283 | 12.83 | 5.60 | 15 | 588.87 | 603.87 |
| 16 | 1.82 | 0.2636 | 73.35 | 0.01363 | 13.63 | 5.96 | 16 | 588.31 | 604.31 |
| 17 | 1.94 | 0.2809 | 69.09 | 0.01447 | 14.47 | 6.32 | 17 | 587.72 | 604.72 |
| 18 | 2.06 | 0.2992 | 65.07 | 0.01537 | 15.37 | 6.72 | 18 | 587.18 | 605.18 |
| 19 | 2.20 | 0.3186 | 61.32 | 0.01631 | 16.31 | 7.13 | 19 | 586.59 | 605.59 |
| 20 | 2.33 | 0.3390 | 57.81 | 0.01730 | 17.30 | 7.56 | 20 | 586.03 | 606.03 |
| 21 | 2.48 | 0.3606 | 54.54 | 0.01834 | 18.34 | 8.01 | 21 | 585.48 | 606.48 |
| 22 | 2.64 | 0.3834 | 51.48 | 0.01943 | 19.43 | 8.48 | 22 | 584.89 | 606.89 |
| 23 | 2.83 | 0.4102 | 48.60 | 0.02058 | 20.58 | 8.99 | 23 | 584.34 | 607.34 |
| 24 | 2.98 | 0.4327 | 45.91 | 0.02178 | 21.78 | 9.52 | 24 | 583.76 | 607.76 |
| 25 | 3.16 | 0.4593 | 43.38 | 0.02305 | 23.05 | 10.07 | 25 | 583.20 | 608.20 |
| 26 | 3.36 | 0.4875 | 41.02 | 0.02438 | 24.38 | 10.65 | 26 | 582.65 | 608.65 |
| 27 | 3.56 | 0.5171 | 38.80 | 0.02577 | 25.77 | 11.26 | 27 | 582.09 | 609.09 |
| 28 | 3.78 | 0.5482 | 36.72 | 0.02723 | 27.23 | 11.90 | 28 | 581.45 | 609.45 |
| 29 | 4.00 | 0.5810 | 34.76 | 0.02876 | 28.76 | 12.57 | 29 | 580.93 | 609.93 |
| 30 | 4.24 | 0.6154 | 32.91 | 0.03038 | 30.38 | 13.27 | 30 | 580.43 | 610.43 |
| 31 | 4.49 | 0.6517 | 31.18 | 0.03207 | 32.07 | 14.01 | 31 | 579.87 | 610.87 |
| 32 | 4.75 | 0.6897 | 29.56 | 0.03383 | 33.83 | 14.78 | 32 | 579.28 | 611.28 |
| 33 | 5.03 | 0.7297 | 28.03 | 0.03568 | 35.68 | 15.59 | 33 | 578.74 | 611.74 |
| 34 | 5.32 | 0.7717 | 26.59 | 0.03761 | 37.61 | 16.43 | 34 | 578.15 | 612.15 |
| 35 | 5.62 | 0.8157 | 25.23 | 0.03964 | 39.64 | 17.32 | 35 | 577.59 | 612.59 |

Ilustración 21 - Tabla de Vapor de Agua Saturado [13]